

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**  
 Направление подготовки **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, профиль Машины и аппараты химических производств**  
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка теплообменного аппарата для подогрева кубового остатка</b>

УДК 66.045.1-047.84:66.048.95.041.132

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Чуклин Евгений Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Механический расчет оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына З.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

## Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.02 выпуска 2019 г

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК-1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК-1,2; ПК-1,3,,9; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК-1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**  
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**  
 Направление подготовки **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**  
 Профиль Машины и аппараты химических производств

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Беляев В.М.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4К51	Чуклин Евгений Владимирович

Тема работы:

Разработка теплообменного аппарата для подогрева кубового остатка	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1235/с от 18.02.2019
Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2019

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><b>Разработка теплообменного аппарата для подогрева кубового остатка</b>                      Холодный теплоноситель – масляная фракция нефти;                      Горячий теплоноситель – насыщенный водяной пар;                      Расход холодного теплоносителя: 25 м<sup>3</sup>/ч;                      Температура горячего теплоносителя: 200 °С;                      Начальная температура холодного теплоносителя: 150 °С;</p>
---	--

	Конечная температура холодного теплоносителя: 150 °С; Давление в трубном пространстве: 0.001 МПа; Давление в межтрубном пространстве: 1.5 МПа.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Реферат; Введение; Технологическая схема; 1 Технологический расчет; 2 Механический расчет; 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 4 Социальная ответственность; Заключение; Список литературы.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Лист 1 – Общий вид теплообменного аппарата А1 Лист 2 – Сборочный чертеж теплообменного аппарата А1 Лист 3 – Технологическая схема А2 Лист 4 – Техничко-экономические показатели А2
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Механический расчет оборудования	Беляев Василий Михайлович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницына Зоя Васильевна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.01.2019
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Чуклин Евгений Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4K51	Чуклину Евгению Владимировичу

Школа	ИШНПТ	Отделение(НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.02. Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами;	
2. Расчет технико-экономических показателей.	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Чуклин Евгений Владимирович		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

## «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4К51	Чуклину Евгению Владимировичу

Школа	ИШНПТ	Отделение(НОЦ)	Н.М. Кижнера
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	18.03.02. Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Тема ВКР:

Разработка теплообменного аппарата для подогрева кубового остатка	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования – кожухотрубный теплообменник;</p> <p>Рабочая зона – открытая площадка;</p> <p>Область применения – нефтяная промышленность.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> -специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; -организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<p>- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019);</p> <p>- Конституция Российской Федерации от 12.12.1993;</p> <p>- Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда»;</p> <p>- Федеральный закон №184-ФЗ «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 года;</p> <p>- Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред. от 10.07.2012г) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности»;</p> <p>- Федеральный закон от 21.07.97 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;</p> <p>- Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации, сокращенная продолжительность рабочего времени.</p>
<b>2.Производственная безопасность:</b>	<p>1.Повышенный уровень вибрации;</p> <p>2.Повышенный уровень шума;</p> <p>3.Электрический ток;</p>



2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	4.Подвижные части производственного оборудования; 5.Повышенная температура поверхности оборудования.
<b>3. Экологическая безопасность:</b> -анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу(отходы)	- Мероприятия по устранению выброса в окружающую среду отходов и вредных веществ; - Вредные вещества, выделяющиеся или используемые во время работы аппарата.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	- Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения- пожар, взрыв; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий; Наиболее вероятная ЧС – возможность взрыва при несоблюдении норм взрыво- и пожаробезопасности. Взрывобезопасность должна обеспечиваться мерами взрывопреупреждения и взрывозащиты, осуществлением специальных организационных и организационно технических мероприятий в объеме требований, установленных действующими нормами взрывобезопасности.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Чуклин Евгений Владимирович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 112 с., 15 рис., 24 табл., 40 источников, 2 листа графического материала формата А1, 2 листа графического материала формата А2.

Ключевые слова: теплообменник, кожухотрубный, неподвижные решетки, подогрев куба, механический, прочность.

Объектом работы является кожухотрубный теплообменник.

Цель работы – Расчет по исходным данным теплообменного аппарата для подогрева кубового остатка.

В ходе работы были выполнены все необходимые расчеты для конструирования аппарата, получены его основные размеры и механические характеристики.

Основные характеристики: диаметр аппарата 325 мм, длина 1960 мм, толщина стенки 8 мм, 56 труб, штуцера 100, 100, 80 и 80 мм.

Степень внедрения: подогрев куба.

Область применения: нефтяная промышленность.

В ходе работы было подтверждено, что рассчитанный теплообменный аппарат полностью соответствует всем приведенным технологическим параметрам.

## **Abstract**

Final qualifying work 112 pages, 15 figures, 24 tables, 40 sources, 2 sheets of A1 graphic material, 2 sheets of A2 graphic material.

Keywords: heat exchanger, shell-and-tube, fixed grilles, cube heating, mechanical, strength.

The object of the work is a shell-and-tube heat exchanger.

Purpose of the work - Calculation based on the initial data of the heat exchanger for heating the bottom residue.

In the course of the work, all the necessary calculations for the design of the apparatus were carried out, its basic dimensions and mechanical characteristics were obtained.

Main characteristics: diameter of the device is 325 mm, length is 1960 mm, wall thickness is 8 mm, 56 pipes, fittings 100, 100, 80 and 80 mm.

The degree of implementation: heating the cube.

Scope: petroleum industry.

In the course of the work it was confirmed that the calculated heat exchanger fully complies with all the given technological parameters.

## Оглавление

Введение.....	14
Технологическая схема .....	15
1 Технологический расчет .....	17
1.1 Тепловые расчеты .....	17
1.2 Ориентировочный расчет и подбор теплообменника .....	18
1.3 Уточненный расчет.....	20
1.4 Конструктивный расчет .....	23
1.5 Гидравлический расчет .....	24
1.6 Расчет толщины изоляции .....	26
1.7 Расчет диаметров патрубков.....	27
Вывод по разделу.....	28
2 Механический расчет .....	29
2.1 Выбор конструкционного материала.....	29
2.2 Расчетная модель .....	29
2.3 Расчет температурных деформаций.....	31
2.4 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки.....	33
2.5 Расчет толщины стенки распределительной камеры .....	37
2.6 Расчет толщины стенки эллиптического днища.....	42
2.7 Расчет штуцеров.....	44
2.8 Укрепление отверстий патрубков .....	48
2.9 Поверочный расчет кожухотрубного теплообменного аппарата.....	49
2.10 Расчет фланцевого соединения .....	62
2.11 Расчет массы пустого и заполненного аппарата. Подбор опор.....	77
Вывод по разделу.....	91
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	82
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	82

3.2 SWOT-анализ .....	83
3.3 Структура работ в рамках научного исследования .....	84
3.4 Определение трудоемкости выполнения работ .....	85
3.5 Разработка графика проведения научного исследования .....	86
3.6 Бюджет научного исследования .....	88
3.7 Расчёт производственной мощности .....	92
Вывод по разделу .....	100
4 Социальная ответственность .....	101
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	101
4.2 Производственная безопасность .....	102
4.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	103
4.4 Экологическая безопасность .....	106
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	106
Вывод по разделу .....	108
Заключение.....	109
Список использованных источников.....	110

## Введение

Теплообменное оборудование составляет достаточно значительную часть от всего технологического оборудования, используемого в химической и нефтехимической отраслях промышленности. В среднем удельный вес теплообменников на различных предприятиях химической промышленности составляет 15-20 %, нефтехимической – 40-50 %. Это можно объяснить, исходя из того, что большинство всех основных процессов химической и нефтехимической технологии связаны с потребностью подвода и отвода тепла. Поэтому усовершенствование процесса теплообмена как теоретически, так и практически может помочь уменьшить энергозатратность на производстве и повысить ресурсоэффективность.

В ходе многочисленных исследований было выявлено, что импортное теплообменное оборудование имеет ряд своих недостатков:

- Завышенный срок эксплуатации;
- Проблемы с нарушением герметичности;
- Высокая цена;
- Быстро забиваются отложениями, из чего следует частая чистка и износ.

Рациональным решением проблем, приведенных выше, является замена зарубежного теплообменника на рассчитанный отечественный кожухотрубный теплообменник. Так как он характеризуется следующими преимуществами:

- Прост в эксплуатации и ремонте;
- Имеет более низкую стоимость;
- При своевременном обслуживании долговечен и надежен.

## Технологическая схема

Для краткого описания того, откуда появляется исходное сырье составим блок-схему (рисунок 1).

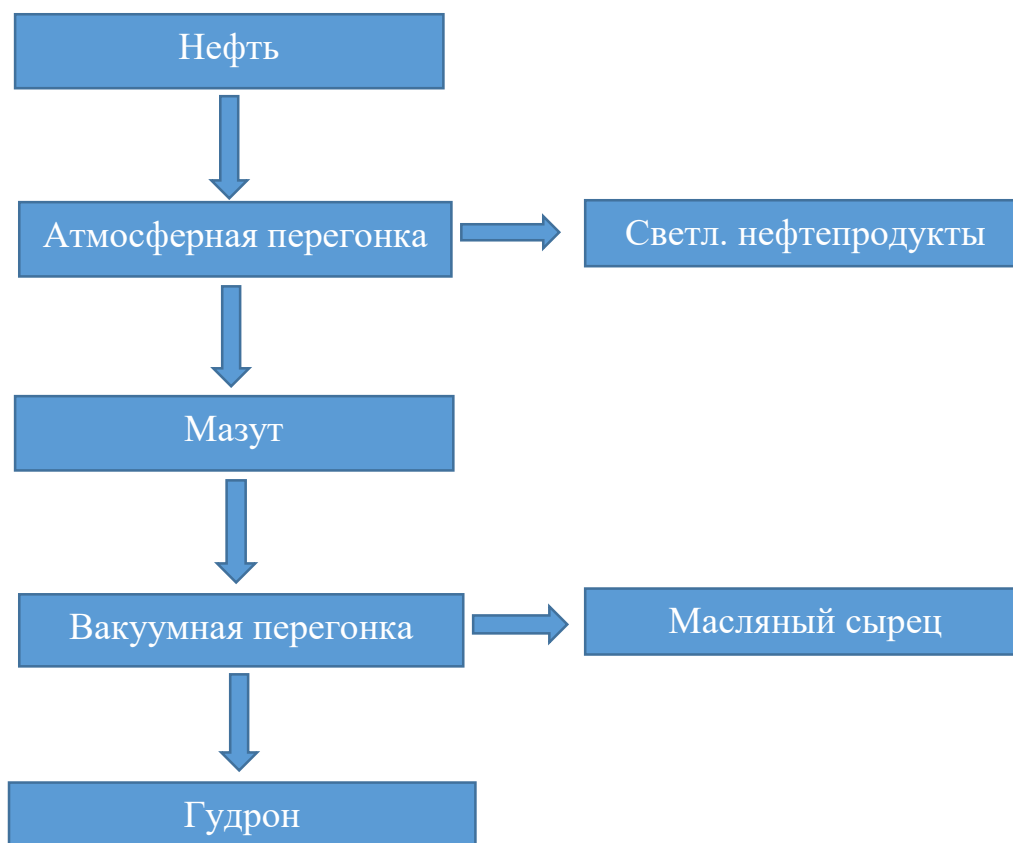


Рисунок 1 – Блок-схема процесса получения исходного сырья

Масляный сырец в качестве исходного сырья подается насосом 1 в подогреватель 2, где нагревается до 135 °С, после чего поступает в колонну 3. Колонна 3 – вакуумная, работающая при разряжении 0.001 МПа. Вакуум в колонне создается эжектором, делается это для того, чтобы уменьшить рабочую температуру, а также снизить термодеструкцию тяжелых углеводородов. Пары конденсируются в дефлегматоре 4, после чего часть из них отводится, а другая часть подается обратно на верхнюю тарелку в качестве орошения с помощью насоса 5. Кубовый остаток – масляная фракция нефти при температуре 150 °С, часть его отводится, другая при помощи насоса 7 подается в теплообменник 6.

					ФЮРА АПКО 000 000 ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Технологическая схема			Литера	Лист	Листов		
Студент	Чуклин Е.В.							Д		15	2	
Руковод.	Тихонов В.В.											
Конс.												
Н. Контр.												
Руков. ООП	Беляев В.М.							ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4К51				

В теплообменнике 6 масляная фракция подогревается греющим паром 200 °С и переходит в парообразное состояние, после чего подается обратно в колонну под нижнюю тарелку. В качестве продуктов выводятся боковыми погонями минеральные масла. Процесс представлен на рисунке 2.

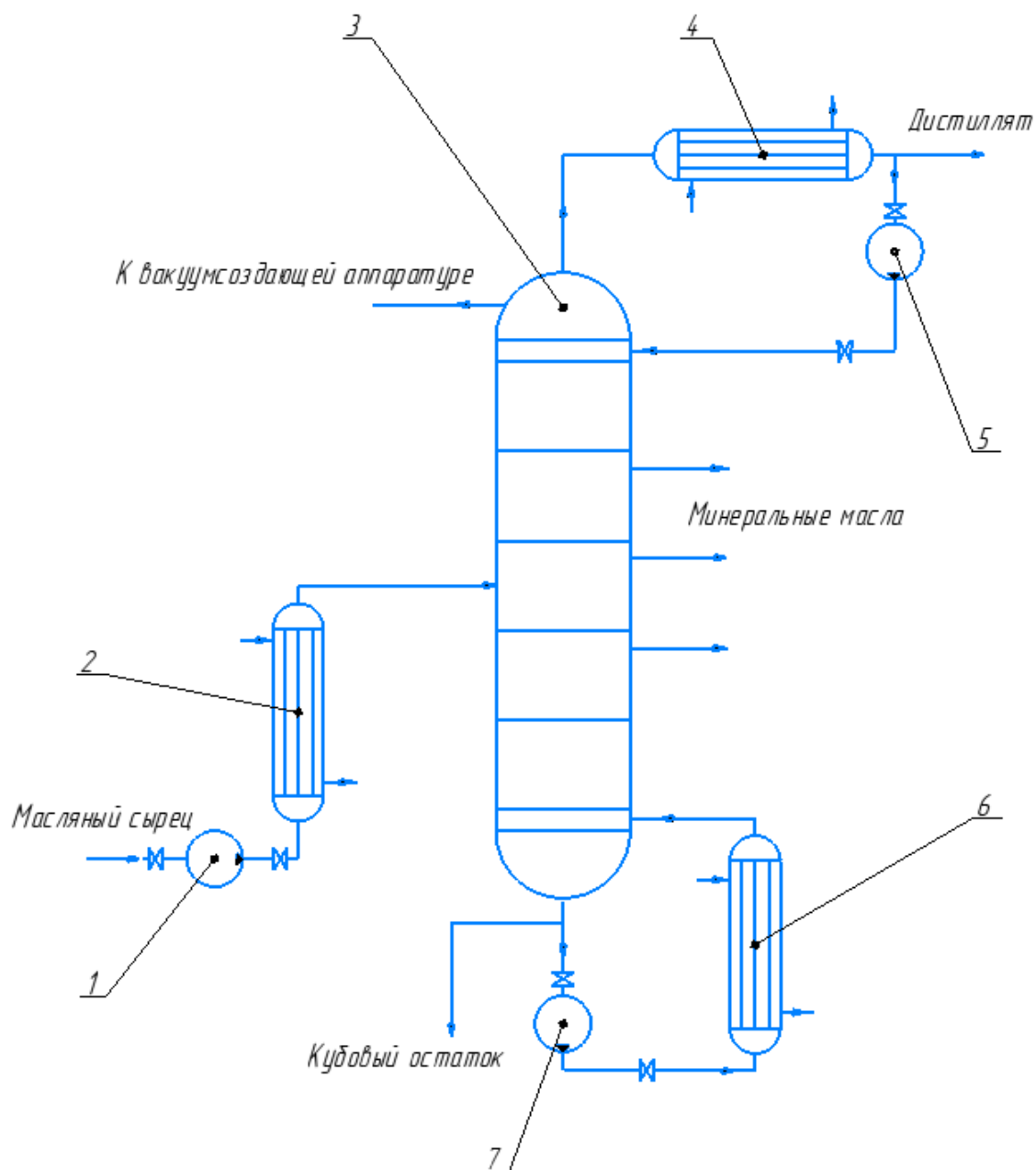


Рисунок 2 – Технологическая схема процесса

1, 5, 7 – насосы, 2 – подогреватель исходного сырья, 3 – вакуумная колонна, 4 – дефлегматор, 6 – подогреватель куба



# 1 Технологический расчет

Целью технологического расчета является произведение тепловых расчетов, нахождение поверхности и подбор теплообменника. Также в технологический расчет входит подбор насоса, расчет толщины изоляции и расчет диаметров патрубков.

## 1.1 Тепловые расчеты

$$t_{гн}=t_{гк}=200\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{хн} := 150\text{ }^{\circ}\text{C} - \text{масл. жид.}$$

$$t_{хк} := 150\text{ }^{\circ}\text{C} - \text{масл. пары}$$

Плотность масляной фракции:

$$\rho_{\text{масл}} := 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

При объемном расходе 25 м<sup>3</sup>/ч и плотности 900 кг/м<sup>3</sup>, массовый расход масляной фракции равен 22500 кг/ч = 6.25 кг/с.

$$G_2 := 6.25 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Объемный расход масляной фракции:

$$V_{\text{масл}} := 0.007 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Удельная теплота испарения масляной фракции [1]:

$$r_{\text{масл}} := 2.1 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$Q_x := r_{\text{масл}} \cdot G_2 = 1.313 \times 10^5 \text{ Вт} \quad (1.1)$$

с учетом потерь 10%:

$$Q := 131300 \cdot 1.1 = 1.444 \times 10^5 \text{ Вт}$$

$$Q_{г} := \text{пар} \cdot M = Q_x \quad (1.2)$$

$$r_{\text{пар}} := 1945000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad (\text{по [1, табл. XLV]})$$

					ФЮРА АПКО 000 000 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Студент	Чуклин Е.В.				Технологический расчет			Литера	Лист	Листов	
Руковод.	Тихонов В.В.							Д		17	12
Конс.								ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4К51			
Н. Контр.											
Руков. ООП	Беляев В.М.										

$$M := \frac{Q_x}{\text{гпар}} = 0.067 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (1.3)$$

$$0.067 \cdot 1.1 = 0.074 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Массовый расход греющего пара:

$$G1 := 0.074 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Температурная схема процесса:

$$t1' := 200$$

$$t1'' := 200$$

$$t2' := 150$$

$$t2'' := 150$$

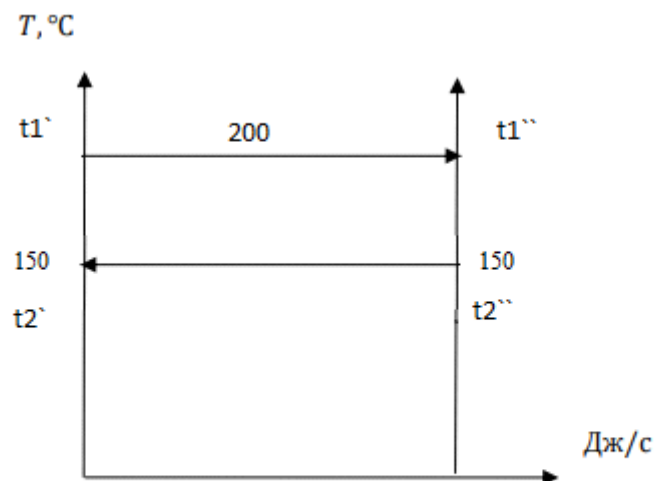


Рисунок 1.1 - Температурная схема процесса

Определим среднюю разность температур:

$$\Delta t_{cp} := 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 1.2 Ориентировочный расчет и подбор теплообменника

Принимаем трубы 25х2 мм:

$$d_{\text{нар}} := 0.025 \text{ м}$$

$$\delta := 2 \text{ мм}$$

$$d_{\text{внут}} := 0.021 \text{ м}$$

					Технологический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Найдем MAX и MIN ориентировочную поверхность теплопередачи.

-ориентировочные значения коэффициента теплопередачи [1, с. 172]:

$$\begin{aligned} K_{\text{орmax}} &:= 2500 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \\ K_{\text{орmin}} &:= 300 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \\ F_{\text{ор}} &:= \frac{Q}{(K_{\text{ор}} \cdot \Delta t_{\text{ср}})} \end{aligned} \quad (1.4)$$

$$Q := 144400 \text{ Вт} - \text{тепловая нагрузка}$$

Рассчитаем ориентировочные значения требуемой поверхности:

$$\begin{aligned} F_{\text{орmin}} &:= \frac{144400}{(2500 \cdot 50)} = 1.155 \text{ м}^2 \\ F_{\text{орmax}} &:= \frac{144400}{(300 \cdot 50)} = 9.627 \text{ м}^2 \end{aligned} \quad (1.5)$$

Примем характер движения потока турбулентным.

Определим вязкость масляной фракции при средней температуре 50 °С [1, с. 556]:

$$\begin{aligned} Re_{\text{ор}} &:= 10000 \\ \mu_{\text{масл}} &:= 0.0018 \text{ Па} \cdot \text{с} \end{aligned}$$

Ориентировочное число труб на один ход:

$$\begin{aligned} G_{\text{масл}} &:= 6.25 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \\ n' &:= \frac{G_{\text{масл}}}{(0.785 \cdot Re_{\text{ор}} \cdot d_{\text{внут}} \cdot \mu_{\text{масл}})} = 21.063 \end{aligned} \quad (1.6)$$

Опираясь на рассчитанные данные, предварительно выберем теплообменник по ГОСТ 31842-2012:

наружный диаметр

$$D_{\text{нар}} := 325 \text{ мм}$$

число труб

$$N_{\text{труб}} := 56$$

число труб на 1 ход

$$n := 28$$

поверхность теплообмена

$$F_{\text{тепл}} := 6.5 \text{ м}^2$$

длина труб

$$l_{\text{труб}} := 1.5 \text{ м}$$

					Технологический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

число ходов

$$z := 2$$

проходное сечение труб

$$S_T := 0.01 \text{ м}^2$$

число рядов труб по вертикали

$$np := 8$$

расстояние между перегородками

$$h := 180 \text{ мм}$$

### 1.3 Уточненный расчет

$$Re_{\text{уточ}} := \frac{n'}{n} \cdot Re_{\text{оп}} = 7.522 \times 10^3 \quad (1.7)$$

Режим течения переходный.

Рассчитаем действительную поверхность теплообмена, выражая ее из основного уравнения теплопередачи 4.72 [1, с. 168]:

Коэффициент теплопередачи равен:

$$K_{\text{действ}} := \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \Sigma R \right)} \quad (1.8)$$

Коэф. теплоотдачи от водяного пара к стенке определим исходя из формулы 4.49a [1, с. 161]:

$$\alpha_1 := 3.78 \cdot \epsilon_t \cdot \lambda_{\text{пара}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_{\text{пара}}^2 \cdot N_{\text{труб}} \cdot d_{\text{нар}}}{\mu_{\text{пара}} \cdot G_{\text{пара}}}} \quad (1.9)$$
$$\epsilon_t := 1$$

поправочная функция для водяного пара

Теплофизические величины берем при температуре пленки:

$$T_{\text{пленки}} := \frac{T_{\text{конд}} + t_{\text{ст1}}}{2} \quad (1.10)$$

$$T_{\text{конд}} := 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ст1}} := T_{\text{конд}} - 0.1 \cdot \Delta t_{\text{ср}} = 195 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.11)$$

$$T_{\text{пленки}} := \frac{T_{\text{конд}} + t_{\text{ст1}}}{2} = 197.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

					Технологический расчет	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Найдем плотность конденсата водяного пара, вязкость и теплопроводность (табл. XXXIX) [1, с. 537]:

$$\begin{aligned}\rho_{\text{пара}} &:= 863 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \\ \mu_{\text{пара}} &:= 136.4 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} \\ \lambda_{\text{пара}} &:= 0.663 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \\ G_{\text{пара}} &:= 0.074 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \\ \alpha_1 &:= 3.78 \cdot 1 \cdot 0.663 \cdot \sqrt[3]{\frac{863^2 \cdot 56 \cdot 0.025}{136.4 \cdot 10^{-6} \cdot 0.074}} = 1.176 \times 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\end{aligned}$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к масляной фракции выразим из формулы 4.11 [1, с. 150]:

$$\alpha_2 := \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{масл}}}{d_{\text{экв}}} \quad (1.12)$$

$$d_{\text{экв}} := d_{\text{внут}}$$

Коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость для масляной фракции [1, табл. XXXIX]:

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{масл}} &:= 0.10 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \\ c_{\text{масл}} &:= 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}\end{aligned}$$

Определим критерий Прандтля, а также значение Прандтля стенки по рис XIII [1, с. 564]:

$$\text{Pr} := \frac{c_{\text{масл}} \cdot \mu_{\text{масл}}}{\lambda_{\text{масл}}} = 37.8 \quad (1.13)$$

$$\text{Pr}_{\text{ст}} := 24$$

Для переходной области критерий Нуссельта рассчитывается из зависимости рис. 4.1 [1, с. 154]:

$$\text{Nu} := 25 \cdot \text{Pr}^{0.43} \cdot \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{\text{ст}}} \right)^{0.25} = 133.531 \quad (1.14)$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к масляной фракции:

					Технологический расчет	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\alpha_2 := \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{масл}}}{d_{\text{экв}}} = 635.861 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Значения  $r_{31}$  и  $r_{32}$  находим по табл. XXXI [1, с. 531]:

$$\Sigma R := r_{31} + r_{32} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} \quad (1.15)$$

$r_{31}$  – тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны пара;

$r_{32}$  – тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны масл. фракции;

$\lambda_{\text{ст}}$  – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м · К);

$\delta$  – толщина стенки трубок, м.

$$r_{31} := \frac{1}{5800}$$

$$\frac{1}{r_{31}} = 5.8 \times 10^3$$

$$r_{32} := \frac{1}{2900}$$

$$\frac{1}{r_{32}} = 2.9 \times 10^3$$

Коэффициент теплопроводности стенки и толщина стенки трубок табл. XXVIII [1, с. 529] для стали:

$$\lambda_{\text{ст}} := 45.5 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\delta := 2 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}$$

Суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений:

$$\Sigma R := r_{31} + r_{32} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} = 5.612 \times 10^{-4} \quad \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Коэффициент теплопередачи и поверхность теплообмена:

$$\Delta t_{\text{ср}} := 55$$

$$K_{\text{действ}} := \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \Sigma R \right)} = 450.672 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Тогда требуемая поверхность теплообмена:

$$F_{\text{действ}} := \frac{Q}{K_{\text{действ}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 5.83 \quad \text{м}^2 \quad (1.16)$$

При этом запас поверхности:

					Технологический расчет	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta := \frac{F_{\text{тепл}} - F_{\text{действ}}}{F_{\text{тепл}}} \cdot 100 = 10.375 \% \quad (1.17)$$

## 1.4 Конструктивный расчет

Найдем скорость движения масляной фракции по трубам:

$$\omega_{\text{масл}} := \frac{V_{\text{масл}}}{S_{\text{T}}} \quad (1.18)$$

$$\omega_{\text{масл}} = 0.7 \text{ м/с}$$

Площадь проход. сечения трубок одного хода:

$$f_1 := \frac{G_{\text{масл}}}{\rho_{\text{масл}} \cdot \omega_{\text{масл}}} = 9.921 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (1.19)$$

Количество трубок в одном ходе:

$$n_1 := \frac{4 \cdot f_1}{\pi \cdot d_{\text{внут}}^2} = 28.643 \quad (1.20)$$

Расчетный диаметр трубки:

т.к  $\alpha_1 \gg \alpha_2$  то:

$$d_p := d_{\text{внут}} = 0.021 \text{ м}$$

Расчетная длина одной трубки при одном ходе:

$$L_p := \frac{F_{\text{действ}}}{\pi \cdot d_p \cdot n_1} = 3.083 \text{ м} \quad (1.21)$$

Принимаем рабочую длину трубок:

$$l := 1.5 \text{ м}$$

Число ходов труб. пространства:

$$Z := \left( \frac{L_p}{l} \right) = 2.055 \quad (1.22)$$

$$Z := 2$$

Количество труб на трубной решетке рассчитываем по формуле:

$$n := Z \cdot n_1 = 57.285 \quad (1.23)$$

					Технологический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Число труб, расположенных на стороне наиб. шестиуг.:

$$x := 1$$

Given

$$3 \cdot x \cdot (x - 1) = n$$

$$\text{Find}(x) = 4.898$$

$$a := 5$$

Число труб, расположенных по диагонали наибольшего шестиугольника:

$$b := 2 \cdot a - 1 = 9 \quad (1.24)$$

Шаг между трубами:

$$t := 1.2 \cdot d_{\text{нар}} \cdot 10^3 + 2 = 32 \text{ мм} \quad (1.25)$$

Диаметр теплообменника:

Коэффициент заполнения трубной решетки:

$$\eta := 0.7$$

$$D_{\text{вн}} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 318.43 \text{ мм} \quad (1.26)$$

Выбираем стандартный теплообменник типа ТН по ГОСТ 31842-2012:

наружный диаметр:

$$D_{\text{нар}} := 325 \text{ мм}$$

число труб:

$$N_{\text{труб}} := 56$$

число труб на 1 ход:

$$n := 28$$

поверхность теплообмена:

$$F_{\text{тепл}} := 6.5 \text{ м}^2$$

длина труб:

$$l_{\text{труб}} := 1500 \text{ мм}$$

число ходов:

$$z := 2$$

проходное сечение труб:

$$S_{\text{т}} := 0.01 \text{ м}^2$$

число рядов труб по вертикали:

$$np := 8$$

расстояние между перегородками:

$$h := 180 \text{ мм}$$

высота распределительной камеры:

$$h := 250 \text{ мм}$$



- Высота теплообменника Н равна

$$\underline{H} := l_{\text{труб}} + h = 1.75 \times 10^3 \text{ мм} \quad (1.27)$$

$$\underline{H} := 1.8 \text{ м (без учета крышек)}$$

## 1.5 Гидравлический расчет

Мощность, потребляемая двигателем насоса [1, с. 20]:

$$N := \frac{V_{\text{масл}} \cdot \Delta P}{1000 \cdot \eta_{\text{нас}}} \quad (1.28)$$

Найдем общее давление по формуле 1.49 [1, с. 25]:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{мс}} + \Delta P_{\text{h}} \quad (1.29)$$

$\Delta P_{\text{тр}}$  - потери на трение, Па

$\Delta P_{\text{мс}}$  - потери на преодоление местных сопротивлений, Па

$\Delta P_{\text{h}}$  - потери на высоту, Па

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{1}{d_{\text{н}} \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_2}{2} + \Sigma \zeta \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_2}{2} + \rho_2 \cdot g \cdot h \quad (1.30)$$

l - длина труб, м

$\lambda$  - коэффициент сопротивления трению

h - высота подъема теплоносителя, м

$\Sigma \zeta$  - суммарный коэффициент местного сопротивления

$$\underline{g} := 9.8$$

$$\underline{h} := 1 \text{ м}$$

$$l = 1.5 \text{ м}$$

$$\lambda := \frac{2.7}{\text{Re}_{\text{точ}}^{0.53}} = 0.024 \quad (1.31)$$

Определим все коэффициенты местных сопротивлений по таблице табл. XIII [1, с.520]:

					Технологический расчет	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Вид сопротивления	$\zeta$	$\Sigma \zeta$
Входная и выходная камера	1,5	$1,5 \cdot 2 = 3$
Вход в трубы и выход из них	1	$1 \cdot 4 = 4$
Поворот на 180 из одной секции в другую	2,5	$2,5 \cdot 1 = 2,5$
$\Sigma \zeta := 9,5$		

Рассчитаем каждое слагаемое отдельно:

$$\lambda \cdot \frac{1,5}{d_{нар} \cdot 10^{-3}} = 1,429 \times 10^3$$

$$\Sigma \zeta \cdot \frac{\omega_{масл}^2 \cdot \rho_{масл}}{2} = 2,095 \times 10^3$$

$$\frac{\omega_{масл}^2 \cdot \rho_{масл}}{2} = 220,5$$

$$\rho_{масл} \cdot g \cdot h = 8,82 \times 10^3$$

Таким образом, общее давление будет равно:

$$\Delta P := 1,429 \times 10^3 \cdot 220,5 + 2,095 \times 10^3 + 4,41 \times 10^4 = 3,613 \times 10^5 \text{ Па}$$

Рассчитаем мощность насоса:

(КПД принимаем 0,75)

$$N_{www} := \frac{0,007 \cdot (3,613 \times 10^5)}{1000 \cdot 0,75} = 3,372 \text{ кВт} \quad (1.32)$$

Исходя из объемного расхода и рассчитанной мощности принимаем насос:

Таблица 1.1 - Подобранный насос

Модель	Подача, м3/час (min-max)	Напор, м (min-max)	Мощность кВт х об/мин
ХМс 25/30К-5.5/2	14.0-32.0	20.0-30.0	5.5х3000

## 1.6 Расчет толщины изоляции

Найдем коэффициент теплоотдачи [1, с. 168]:

$$\alpha := 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t \quad (1.33)$$

$\Delta t$  - разность температур поверхности аппарата и окружающего воздуха

Температура поверхности изоляции не должна превышать 40 °С

Примем температуру наружной среды -30 °С

Разность температур:

$$\Delta t := 40 - (-30) = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тогда коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha := 9.74 + 0.07 \cdot 70 = 14.64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Удельный тепловой поток:

$$q_{\text{уд}} := \alpha \cdot \Delta t = 1.025 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (1.34)$$

В качестве изоляционного материала примем совелит

Теплопроводность совелита [табл. XXVIII, 1, с. 529]:

$$\lambda := 0.098 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Вычислим толщину изоляции при рабочей температуре 200 °С:

$$T_{\text{раб}} := 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Удельный тепловой поток

$$q_{\text{уд}} := \frac{\lambda}{\delta_{\text{изол}}} \cdot [T_{\text{раб}} - (-30)] \quad (1.35)$$

Откуда толщина изоляции:

$$\delta_{\text{изол}} := \frac{\lambda}{1.025 \times 10^3} \cdot [T_{\text{раб}} - (-30)] = 0.022 \text{ м} \quad (1.36)$$

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности материала изоляции;

$T_{\text{раб}}$  - рабочая температура в кожухе аппарата;

$\delta$  - толщина теплоизоляции, м.

Так как минимальная толщина совелитовой плиты составляет 40 мм, принимаем толщину изоляции 40 мм.

					Технологический расчет	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 1.7 Расчет диаметров патрубков

Расчёт патрубков сводится к опред. диаметра патрубка по уравнению:

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{3.14 \cdot \rho \cdot w}} \quad (1.37)$$

w – скорость; для жидкости принимается 0,1-2 м/с, для пара – 10-30 м/с;

G – массовый расход соответствующего потока теплоносителя, кг/с;

ρ – плотность при соответствующих условиях, кг/м<sup>3</sup>.

Для входа и выхода масляной фракции:

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot 6.25}{3.14 \cdot 900 \cdot 1}} = 0.094 \text{ м}$$

Для входа пара:

(скорость пара примем равной 10 м/с)

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot 0.074}{3.14 \cdot 7.840 \cdot 10}} = 0.035 \text{ м}$$

Для выхода конденсата пара:

(скорость конденсата примем равной 0.2 м/с)

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot 0.074}{3.14 \cdot 864.7 \cdot 0.2}} = 0.023 \text{ м}$$

Исходя из удобства проектирования, конструктивных особенностей, а также того, что в дальнейшем теплообменник может использоваться при работе на других узлах и с другими средами примем патрубки для входа и выхода масляной фракции по 100 мм, а для входа пара и выхода конденсата по 80 мм.

### Вывод по разделу

Таким образом, в данном разделе был произведен тепловой расчет, найдена поверхность теплообмена и исходя из этого подобран теплообменный аппарат. Также посчитан и подобран насос, толщина изоляции и диаметры патрубков.

## 2 Механический расчет

Основной целью механического расчета оборудования является определение различных параметров его отдельных элементов, которые бы смогли обеспечить безопасную эксплуатацию и надежность. Любое оборудование должно обладать достаточной механической прочностью, плотностью разъемных соединений, а также устойчивостью к сохранению формы и соответствующей долговечностью.

### 2.1 Выбор конструкционного материала

Марка стали выбирается исходя из условий работы, и по соответствию определенным критериям, таким как хладостойкость, совместимость по агрессивности среды, доступность и сравнительная дешевизна. Также выбранная сталь должна обладать достаточными прочностным и пластическими характеристиками в рабочих условиях, допускать холодную и горячую механическую обработку, а также иметь низкую стоимость и высокую распространенность на рынке.

Так как теплообменный аппарат будет находиться на открытой площадке, а также исходя из того, что масляная фракция нефти является агрессивной средой, в качестве исполнительной марки стали для элементов корпуса и трубной решетки выбираем сталь 16ГС, а для труб 12Х18Н10Т.

В качестве материала для крепежных изделий принимаем сталь 40Х, так как она имеет высокую механическую прочность, устойчивость к резким перепадам температур, а также очень распространена на рынке.

В качестве уплотнительного материала примем паронит, так как он является химически стойким и дешевым относительно других материалов.

### 2.2 Расчетная модель

Теплообменный аппарат служит для подогрева кубового остатка ректификационной колонны.

В трубном пространстве находится масляная фракция нефти при температуре 150 градусов и разрежении 0.001 МПа, в межтрубном - греющий пар при температуре 200 градусов и давлении 1.5 МПа.

					ФЮРА АПКО 000 000 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Студент	Чуклин Е.В.				Механический расчет	Литера	Лист	Листов	
Руковод.	Тихонов В.В.					Д		29	53
Конс.	Беляев В.М.					ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4К51			
Н. Контр.									
Руков. ООП	Беляев В.М.								

Через штуцер А из куба колонны, работающей под разряжением, подается масляная фракция в жидком виде, с температурой 150 градусов, проходя по трубам она подогревается греющим паром (200 градусов), переходит в парообразное состояние (150 градусов) и поступает обратно в колонну через штуцер Б. Греющий пар поступает через штуцер В, его конденсат отводится через штуцер Г.

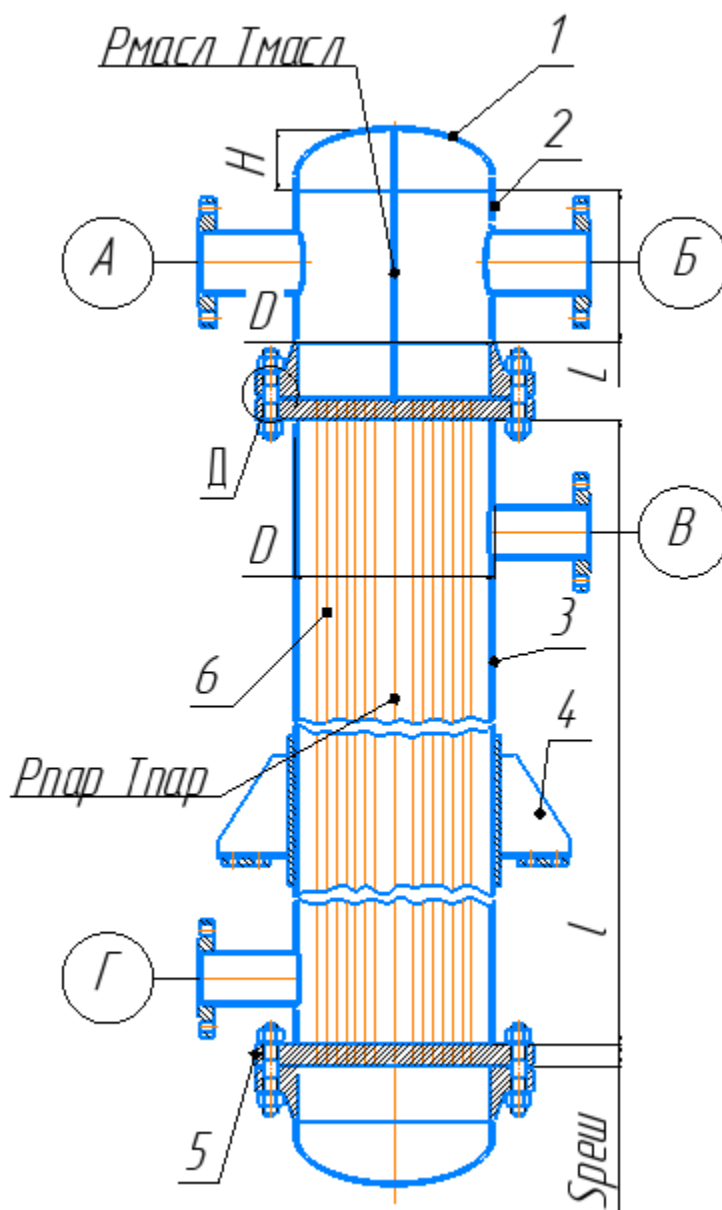


Рисунок 2.1 - Расчетная модель теплообменного аппарата

1 - крышка эллиптическая; 2 - распределительная камера; 3 - цилиндрическая обечайка; 4 - лапы; 5 - трубная решетка; 6 – трубы

## 2.3 Расчет температурных деформаций

Для того, чтобы проверить подходит ли нам теплообменный аппарат с неподвижными трубными решетками, произведем расчет температурных деформаций труб и корпуса.

### Исходные данные:

Температурные коэффициенты линейного расширения труб и корпуса по [6],  $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ ;

$$\alpha_T := 17.0 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_K := 12.6 \cdot 10^{-6}$$

Число труб;

$$n := 56$$

Температура кожуха,  $^{\circ}\text{C}$

$$t_K := 200$$

Наружные и внутренние диаметры труб и корпуса, мм;

$$d_H := 25$$

$$d_{BH} := 21$$

$$D_H := 325$$

$$D_{внут} := 309$$

Длина труб, м;

$$l := 1.5$$

### Расчетные параметры:

Средняя температура труб:

$$t_T := \frac{(150 + 200)}{2}$$

$$t_T = 175 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Модули упругости для материала труб (12X18Н10Т) и кожуха (16ГС) при рабочей температуре согласно [6]:

$$E_K := 1.81 \times 10^5 \text{ МПа}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

$$t := \left( \frac{150}{200} \right) E_T := \left( \frac{2.05}{1.98} \right)$$

$$E_T := \text{Ceil}(\text{interp}(t, E_T, 175), 0.01) = 2.02 \text{ МПа}$$

$$E_{\text{кв}} := 2.02 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения корпуса и труб при их рабочей температуре по [6]:

$$\sigma_{\text{дк}} := 165 \text{ МПа (При } 200^\circ\text{C)}$$

$$t := \left( \frac{150}{200} \right) \sigma_{\text{дт}} := \left( \frac{168}{160} \right)$$

$$\sigma_{\text{дт}} := \text{Ceil}(\text{interp}(t, \sigma_{\text{дт}}, 175), 0.5) = 164 \text{ МПа (При } 175^\circ\text{C)}$$

Площади поперечного сечения труб и корпуса:

$$F_T := n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left[ (d_H \cdot 10^{-3})^2 - (d_{BH} \cdot 10^{-3})^2 \right] = 8.093 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot \left[ (D_H \cdot 10^{-3})^2 - (D_{BHUT} \cdot 10^{-3})^2 \right] = 7.967 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

Определяем температурное усилие:

$$Q_t := \left| \frac{(\alpha_K \cdot t_K - \alpha_T \cdot t_T) \cdot E_T \cdot E_K \cdot F_T \cdot F_K}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} \right| = 0.349 \text{ МН} \quad (2.3)$$

Определим температурные напряжения, которые испытывают корпус и трубы:

$$\sigma_T := \frac{Q_t}{F_T} = 43.077 \text{ МПа} \quad (2.4)$$

$$\sigma_K := \frac{Q_t}{F_K} = 43.756 \text{ МПа} \quad (2.5)$$

Проверим применимость теплообменника с неподвижными трубными решетками:

$$\sigma_T \leq \sigma_{\text{дт}}$$

$$43.077 \leq 164 \text{ МПа}$$

$$\sigma_K \leq \sigma_{\text{дк}}$$

$$43.756 \leq 165 \text{ МПа}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32



Так как расчетные напряжения не превышают допускаемых, можно использовать теплообменник типа ТН.

## 2.4 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (позиция 3)

Целью данного расчета является определение толщины стенки цилиндрической обечайки, которая будет обеспечивать прочность конструкции.

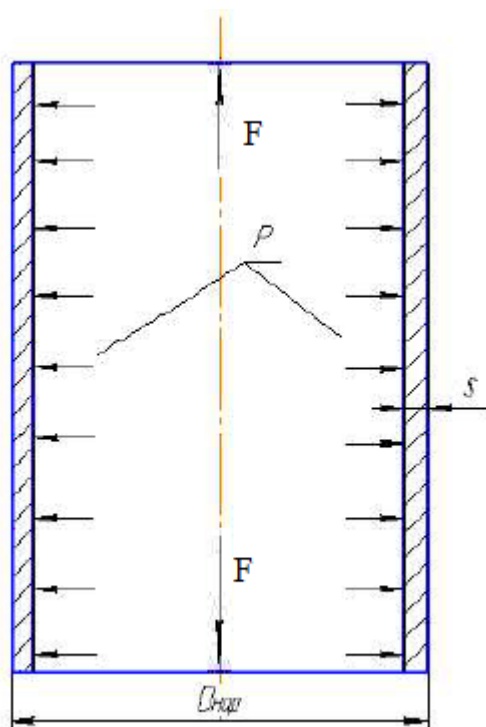


Рисунок 2.2 - Расчетная схема обечайки аппарата

### Исходные данные:

Наружный диаметр обечайки, мм;

$$D := 325$$

Длина цилиндрической обечайки, мм;

$$l := 1500$$

### Расчетные параметры:

Допускаемое напряжение стали 16ГС при 20 °С:

$$\sigma_{\text{Доп}20} := 196 \text{ МПа}$$

Коэффициент номинального уменьшения допускаемого напряжения:

$$\eta := 0.9$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Расчет допускаемого напряжения для стали 16ГС при 20 °С:

$$\sigma_{Д20} := \sigma_{Доп20} \cdot \eta = 176.4 \text{ МПа} \quad (2.6)$$

Допускаемое напряжение стали 16ГС при рабочей температуре горячего теплоносителя (200 °С):

$$\sigma_{Д,200} := 165 \text{ МПа}$$

Сварка аппарата полуавтоматическая, сварной шов стыковой односторонний, контролируемая длина сварных швов 100%.

Коэффициент сварного шва равен:

$$\phi := 1$$

Коэффициент запаса прочности по пределу текучести:

$$n := 1.1$$

Значение предела текучести 16ГС при температуре 20 °С:

$$\sigma_{\text{тв}} := 300 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение стали 16ГС для условий гидроиспытания:

$$\sigma_{\text{и}} := \frac{\sigma_{\text{т}}}{n} = 272.727 \text{ МПа} \quad (2.7)$$

Расчетное давление:

$$P_{\text{рас2}} := 1.5 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях

$$P_{\text{и2}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас2}} \cdot \frac{\sigma_{Д20}}{\sigma_{Д,200}} = 2.005 \text{ МПа} \quad (2.8)$$

#### 2.4.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left( \frac{P_{\text{рас2}} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д,200} - P_{\text{рас2}}}, \frac{P_{\text{и2}} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{и}} - P_{\text{и2}}} \right) = 1.484 \text{ мм} \quad (2.9)$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{\text{и1}} := s_{p1} + c \quad (2.10)$$

Где прибавку к расчетным толщинам находим согласно [6, с.10]:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Скорость коррозии материала от действия заданной среды:

$$\Pi := 0.15 \text{ мм/год}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau := 10 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau = 1.5 \text{ мм} \quad (2.11)$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0.8 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка:

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 2.3 \text{ мм} \quad (2.12)$$

Тогда

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 3.784 \text{ мм}$$

Исходя из того, что обечайка теплообменника сделана из цельной трубы, по [16] принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра:

$$s_1 := 8 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Усл. применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_1 = \text{"Усл. применения формул выполняются"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д.200} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 5.688 \text{ МПа} \quad (2.13)$$

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности для цил. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{рас2} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_2 = \text{"Усл. прочности для цил. обечайки выполняется"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при условиях испытаний:

$$P_{д1и} := \frac{1.8 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 8.461 \text{ МПа} \quad (2.14)$$

$$\text{Пров}_{2и} := \begin{cases} \text{"Усл. прочности для цил. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1и} > P_{и2} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{2и} = \text{"Усл. прочности для цил. обечайки выполняется"}$$

#### 2.4.2 Расчет осевого растягивающего усилия:

-при рабочих условиях:

Расчетное осевое растягивающее усилие равно

$$F_{\text{рас}} := \frac{P_{рас2} \cdot \pi \cdot D^2}{4} = 1.244 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.15)$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле 13 [5]

$$[F] := \pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{Д.200} = 9.771 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.16)$$

Так как  $F < [F]$

$$(1.244 \times 10^5 < 9.771 \times 10^5) \text{ - условия выполняются}$$

-при условиях испытаний:

Осевое растягивающее усилие находится по [5]:

$$F_{и} := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_{и2} = 1.663 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.17)$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие из условия прочности находится по формуле 15 [5]:

$$F_{и.д\sigma} := \pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \sigma_{и} = 1.615 \times 10^6 \text{ Н} \quad (2.18)$$

Так как  $F_{и.д\sigma} > F_{и}$

$$(1.615 \times 10^6 > 1.663 \times 10^5) \text{ - условия выполняются}$$

Из расчетов видно, что принятая исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата.

## 2.5 Расчет толщины стенки распределительной камеры (позиция 2)

Целью данного расчета является определение толщины стенки распределительной камеры, которая будет обеспечивать прочность конструкции.

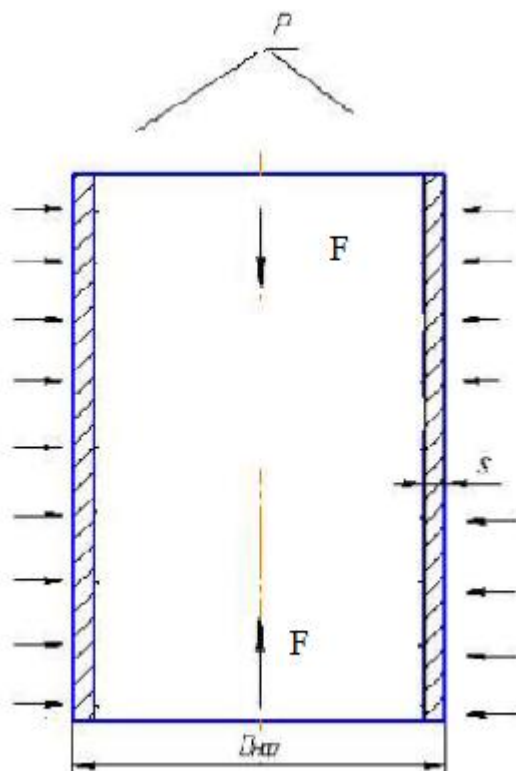


Рисунок 2.3 - Расчетная схема распределительной камеры аппарата

### Исходные данные:

Диаметр распредел. камеры, мм;

$D := 325$

Высота распределительной камеры, мм;

$L := 250$

Наружное давление, МПа

$P_{нар} := 0.1$

Модуль продольной упругости для стали 16ГС при температуре 150 °C, Па;

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

$$E_3 := 1.86 \cdot 10^{11}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при температуре 150 °С, МПа;

$$\sigma_{Д150} := 171$$

### 2.5.1 При наружном давлении:

Коэффициент В1 определяют по формуле:

$$B1 := \max \left[ 1, 0.47 \left( \frac{P_{нар}}{10^{-5} \cdot E_3} \right)^{0.067} \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^{0.4} \right] = 1 \quad (2.19)$$

Расчет. величина стенки определяется по формуле:

$$S_{рвн} := \max \left[ 1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B1} \cdot \left( \frac{P_{нар}}{10^{-5} \cdot E_3} \cdot \frac{L}{D} \right)^{0.4}, \frac{P_{нар} \cdot D \cdot 1.2}{2 \cdot \sigma_{Д150} - P_{нар}} \right] = 0.114 \text{ мм} \quad (2.20)$$

$$s_{и2} := S_{рвн} + c = 2.414 \text{ мм} \quad (2.21)$$

Исходя из того, что обечайка теплообменника сделана из цельной трубы, по [16] принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра:

$$s_2 := 8 \text{ мм}$$

Проверка условия:

$$\text{Проверка} := \begin{cases} \text{"усл. применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"усл. применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка = "усл. применения формул выполняется"

Допуск. наруж. давление из усл. прочности:

$$p_n := \frac{2 \cdot \sigma_{Д150} \cdot (s_2 - c)}{D + (s_2 - c)} = 5.895 \text{ МПа} \quad (2.22)$$

Коэффициент В2 определяется по формуле:

$$B2 := \min \left[ 1, 9.45 \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s_2 - c)}} \right] = 1 \quad (2.23)$$

Допуск. давление из усл. устойчивости в пределах упругости:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$(n_y) := 2.4$$

-коэффициент запаса устойчивости для раб. условий

$$p_e := \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E_3}{n_y \cdot B_2} \cdot \frac{D}{L} \left[ \frac{100 \cdot (s_2 - c)}{D} \right]^{2.5} = 8.537 \times 10^6 \text{ Па} \quad (2.24)$$

$$p_e := 8.53 \text{ МПа}$$

Допуск. наруж. давление находится по формуле:

$$P := \frac{p_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{p_n}{p_e} \right)^2}} = 4.849 \text{ МПа} \quad (2.25)$$

Осевое сжим. усилие определяется по формуле:

$$F := 0.25 \cdot \pi \cdot (D^2) \cdot P_{\text{нар}} = 8.296 \times 10^3 \text{ Н} \quad (2.26)$$

Допуск. осевое сжим. усилие из усл. прочности вычисляют по формуле:

$$F_{d\sigma} := \pi \cdot (D + s_2 - c) \cdot (s_2 - c) \cdot \sigma_{D150} = 1.013 \times 10^6 \text{ Н} \quad (2.27)$$



Рисунок 2.4 - Расчетная схема для сжимающего усилия

Приведённую расчётную длину принимают по таблице 1 [5]:

$$l_{\text{пр}} := L$$

Гибкость  $\lambda$  вычисляется по формуле 19 [5]:

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{\text{пр}}}{D + (s_2 - c) \cdot 10^{-3}} = 2.177 \quad (2.28)$$

$$F_{dE} := \begin{cases} \text{if } \frac{L}{D} \geq 10 \\ \left| \begin{aligned} F_{dE1} &\leftarrow 31 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{E_3}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ 0.1 \cdot \frac{(s_2 - c)}{D} \right]^{2.5} \\ F_{dE2} &\leftarrow \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot [D + (s_2 - c) \cdot 10^{-3}] \cdot (s_2 - c) \cdot 10^{-3} \cdot E_3}{n_y} \\ F_{dE} &\leftarrow \min(F_{dE1}, F_{dE2}) \end{aligned} \right. \\ F_{dE} \leftarrow 31 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{E_3}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ 0.1 \cdot \frac{(s_2 - c)}{D} \right]^{2.5} \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{dE} = 3.269 \times 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие вычисляют по формуле 14 [5]:

$$F_d := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left( \frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}} \right)^2}} \quad (2.29)$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие равно:

$$F_d := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left( \frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}} \right)^2}} = 3.111 \times 10^5 \text{ Н}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{prov\_2} := \begin{cases} \text{"Усл. устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{нар}}{P} + \frac{F}{F_d} \leq 1 \\ \text{"Усл. устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

prov\_2 = "Усл. устойчивости выполняется"

$$\frac{P_{нар}}{P} + \frac{F}{F_d} = 0.047$$

## 2.5.2 При гидроиспытаниях:

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

					Механический расчет	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$P_{\text{гидр}} := 0.2 \text{ МПа}$$

- для трубопроводов, а также аппаратов, работающих под вакуумом давление для испытаний, принимается 0,2 МПа [25].

$$s_{\text{pp2}} := \frac{P_{\text{гидр}} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{и}} - P_{\text{гидр}}} = 0.119 \text{ мм} \quad (2.30)$$

$$s_{\text{иисп}} := s_{\text{pp2}} + c = 2.419 \text{ мм} \quad (2.31)$$

Исходя из того, что обечайка теплообменника сделана из цельной трубы, по [16] принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра:

$$s_{2\text{исп}} := 8 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Усл. применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{2\text{исп}} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_3 = \text{"Усл. применения формул выполняются"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при условиях испытаний:

$$P_{\text{д1исп}} := \frac{1.8 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \phi \cdot (s_{2\text{исп}} - c)}{D + (s_{2\text{исп}} - c)} = 8.461 \text{ МПа} \quad (2.32)$$

$$\text{Пров}_{3\text{исп}} := \begin{cases} \text{"Усл. проч. для цил. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{\text{д1исп}} > P_{\text{гидр}} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{3\text{исп}} = \text{"Усл. проч. для цил. обечайки выполняется"}$$

Осевое растягивающее усилие при условиях испытаний находится по [5]:

$$F_{\text{и.д}} := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_{\text{гидр}} = 1.659 \times 10^4 \text{ Н} \quad (2.33)$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие из условия прочности находится по формуле 15 [5]:

$$F_{\text{и.д}\sigma} := \pi \cdot (D + s_{2\text{исп}} - c) \cdot (s_{2\text{исп}} - c) \cdot \sigma_{\text{и}} = 1.615 \times 10^6 \text{ Н} \quad (2.34)$$

$$\text{Так как } F_{\text{и.д}\sigma} > F_{\text{и}}$$

$$(1.615 \times 10^6 > 1.659 \times 10^4) \text{ - условия выполняются}$$

Из расчетов видно, что принятая исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата. В данном случае ее даже можно было бы

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

уменьшить, но тогда придется использовать обечайку, сделанную не из трубы, а из сваренного листового проката, что приведет к повышению цены.

## 2.6 Расчет толщины стенки эллиптического днища (позиция 1)

Целью данного расчета является определение толщины эллиптического днища, которое будет обеспечивать прочность и надежность конструкции.

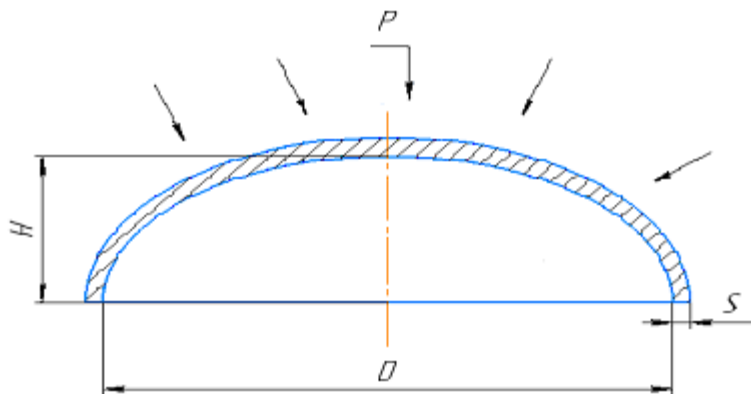


Рисунок 2.5 - Расчетная схема эллиптического днища

### Исходные данные:

Принимаем днища по [17]: 325х8х-25-16ГС

Внутренний диаметр днища, мм;

$$D := 309$$

Наружное давление, МПа

$$P_{нар} := 0.1$$

### Расчетные параметры:

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R := D$$

для эллиптических днищ

$$H := 0.25D$$

$$H = 81.25 \text{ мм}$$

$$K_э := 0.9 \text{ - определяем по рис. 9 [5]}$$

### 2.6.1 При наружном давлении:

Находим толщину стенки по формулам:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$S_{p2} := \max \left( \frac{K_3 \cdot R}{161} \cdot \frac{n_y \cdot P_{нар}}{10^{-5} \cdot E_3}, \frac{1.2 \cdot P_{нар} \cdot R}{2 \cdot \sigma_{Д150}} \right) = 0.114 \text{ мм}$$

$$s_{э.к} := \text{ceil}(S_{p2} + c) = 3 \text{ мм}$$
(2.35)

Исходя из того, что минимальная толщина для днища при данном диаметре это 8 мм, принимаем толщину:

$$s_3 := 8 \text{ мм}$$

Проверка условия применения формул для эллиптического днища:

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"усл. применения формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_3 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"усл. применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров<sub>4</sub> = "усл. применения формул выполняется"

Допускаемое наружное давление при рабочих условиях:

из усл. прочности:

$$P_{ркп} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д150} \cdot (s_3 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_3 - c)} = 5.946 \text{ МПа}$$
(2.36)

из усл. устойчивости:

$$P_{ркЕ} := \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot E_3}{n_y} \cdot \frac{100 \cdot (s_3 - c)}{K_3 \cdot R} = 3.927 \times 10^6 \text{ Па}$$
(2.37)

$$\underline{P_{ркЕ}} := 3.9 \text{ МПа}$$

$$P_{рк} := \frac{P_{ркп}}{\sqrt{1 + \left( \frac{P_{ркп}}{P_{ркЕ}} \right)^2}} = 3.261 \text{ МПа}$$
(2.38)

$$P_{рк} > P_{нар}$$

(3.261 > 0.1)- условие выполняется

## 2.6.2 При гидротестированиях:

$$\underline{P_{гидр}} := 0.2 \text{ МПа}$$

-для аппаратов и трубопроводов, работающих под вакуумом давление испытаний, принимается равным 0,2 МПа [25].

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Расчетная толщина стенки при внутреннем избыточном давлении:

$$S_{p2исп} := \frac{P_{гидр} \cdot R}{1.8 \cdot \phi \cdot \sigma_{и} - 0.5 \cdot P_{гидр}} = 0.132 \text{ мм} \quad (2.39)$$

$$s_{э.кисп} := \text{ceil}(S_{p2исп} + c) = 3 \text{ мм}$$

Исходя из того, что минимальная толщина для днища при данном диаметре это 8 мм, принимаем толщину:

$$s_{зисп} := 8 \text{ мм}$$

Допускаемое давление при гидроиспытаниях:

$$P_d := \frac{1.8 \cdot (s_{зисп} - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{и}}{R + 0.5 \cdot (s_{зисп} - c)} = 8.535 \text{ МПа} \quad (2.40)$$

$$P_d > P_{гидр}$$

$$(8.535 > 0.2) - \text{условие выполняется}$$

Из расчетов видно, что принятая исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата.

## 2.7 Расчет штуцеров

Целью данного расчета является нахождение минимальной исполнительной толщины стенки штуцера, а также его проверка на прочность.

### Исходные данные:

Расчет диаметров патрубков был произведен в технологическом расчете. Исходя из удобства проектирования, конструктивных особенностей, а также того, что в дальнейшем теплообменник может использоваться при работе на других узлах и с другими средами, патрубки для входа и выхода масляной фракции были приняты по 100 мм, а для входа пара и выхода конденсата по 80 мм.

Диаметры вход. и выход. патрубков для холод. теплоносителя, мм;

$$d_{хол} := 100$$

Диаметр вход. и выход. патрубков для горяч. теплоносителя, мм;

$$d_{гор} := 80$$

Раб. температура холод. теплоносителя, °C;

$$t_{хол} := 150$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Раб. температура горяч. теплоносителя, °C;

$$t_{\text{гор}} := 200$$

Длину патрубка назначим конструктивно (для того, чтобы была возможность легко монтировать аппарат, а также не было особых трудностей при его транспортировке).

Длина патрубка для горяч. т-носителя, мм;

$$l_{\text{гор}} := 160$$

Длина патрубка для холодного теплоносителя, мм;

$$l_{\text{хол}} := 160$$

Расчет. давление в трубном пр-ве в раб. условиях, МПа;

$$P_{\text{рас1}} := 0.001$$

Расчет. давление в межтрубном пр-ве в раб. условиях, МПа;

$$P_{\text{рас2}} := 1.5$$

Материал для патрубков назначим конструктивно: 16ГС (так как используя такой же материал, из которого изготовлен корпус аппарата, мы сможем избежать увеличения скорости коррозии).

### 2.7.1 Расчет толщины стенки патрубка холод. т-носителя:

Расчетная толщина стенки патрубка холод. т-носителя, согласно [5]:

$$s_{p4} := \max \left( \frac{P_{\text{рас1}} \cdot d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д150}} - P_{\text{рас1}}}, \frac{P_{\text{гидр}} \cdot d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{н}} - P_{\text{гидр}}} \right) = 0.037 \text{ мм} \quad (2.41)$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{\text{н4}} := s_{p4} + c = 2.337 \text{ мм} \quad (2.42)$$

Принимаем толщину патрубка исходя из [24]:

$$s_{\text{патруб1}} := 6 \text{ мм}$$

Проверка усл. применимости формул безмомент. теории:

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"Усл. применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{\text{патруб1}} - c}{d_{\text{хол}}} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров1 = "Усл. применения формул выполняются"

Расчет допускаемого избыточного давления:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$P_{д4} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д150} \cdot \phi \cdot (s_{патруб1} - c)}{d_{хол} + (s_{патруб1} - c)} = 12.203 \text{ МПа} \quad (2.43)$$

Так как максимальным давлением для патрубка холодного теплоносителя будет являться давление гидроиспытаний ( $P_{гидр}$ ), то сравниваем допускаемое избыточное давление с ним:

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Усл. прочн. для патрубка хол. т-носителя выполняется"} & \text{if } P_{д4} > P_{гидр} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров2 = "Усл. прочн. для патрубка хол. т-носителя выполняется"

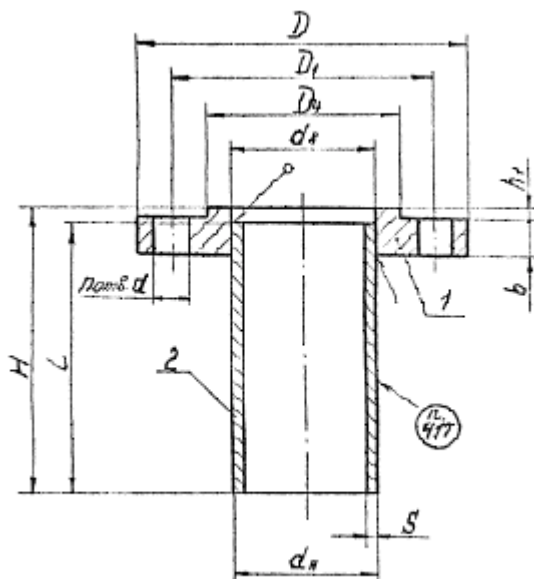


Рисунок 2.6 - Штуцер для холодного теплоносителя [24]

Таблица 2.1 - Основные размеры выбранного штуцера [24]

$D_y, \text{мм}$	$d_b, \text{мм}$	$D, \text{мм}$	$D_1, \text{мм}$	$D_2, \text{мм}$	$D_4, \text{мм}$	$D_6, \text{мм}$	$h_2, \text{мм}$	$b, \text{мм}$	$h, \text{мм}$
100	110	215	180	158	149	150	3	25	3

Таблица 2.1 - Основные размеры выбранного штуцера [24]

$h_1, \text{мм}$	$d, \text{мм}$	$n, \text{мм}$	$l, \text{мм}$	$H, \text{мм}$	$d_H, \text{мм}$	$S, \text{мм}$
4	18	8	160	165	108	6

## 2.7.2 Расчет толщины стенки патрубка горяч. т-носителя:

Расчетная толщина стенки патрубка горяч. т-носителя, согласно [5]:

$$s_{p5} := \max \left( \frac{P_{рас2} \cdot d_{гор}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д.200} - P_{рас2}}, \frac{P_{и2} \cdot d_{гор}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и} - P_{и2}} \right) = 0.365 \text{ мм} \quad (2.44)$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{и5} := s_{p5} + c = 2.665 \text{ мм} \quad (2.45)$$

Принимаем толщину патрубка исходя из [24]:

$$s_{патруб2} := 5 \text{ мм}$$

Проверка усл. применимости формул безмомент. теории:

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Усл. применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{патруб2} - c}{d_{гор}} \leq 0.1 \\ \text{"Усл. применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров3 = "Усл. применения формул выполняются"

Расчет допускаемого избыточного давления:

$$P_{д5} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д.200} \cdot \phi \cdot (s_{патруб2} - c)}{d_{гор} + (s_{патруб2} - c)} = 10.774 \text{ МПа} \quad (2.46)$$

Так как максимальным давлением для патрубка горячего теплоносителя будет являться давление гидроиспытаний ( $P_{и2}$ ), то сравниваем допускаемое избыточное давление с ним:

$$\text{Пров4} := \begin{cases} \text{"Усл. прочн. для патрубка гор. т-носителя выполняется"} & \text{if } P_{д5} > P_{и2} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров4 = "Усл. прочн. для патрубка гор. т-носителя выполняется"

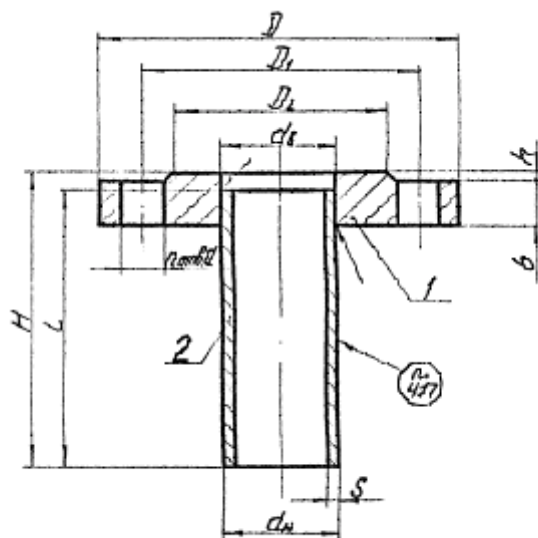


Рисунок 2.7 - Штуцер для горячего теплоносителя [24]

Таблица 2.2 - Основные размеры выбранного штуцера [24]

$D_{y, \text{мм}}$	$d_{B, \text{мм}}$	$D, \text{мм}$	$D_1, \text{мм}$	$D_2, \text{мм}$	$b, \text{мм}$	$h, \text{мм}$	$d, \text{мм}$	$n, \text{мм}$	$l, \text{мм}$
80	91	195	160	133	23	3	18	8	160

Таблица 2.2 - Основные размеры выбранного штуцера [24]

$H, \text{мм}$	$d_H, \text{мм}$	$S, \text{мм}$
165	89	5

Таким образом, были подобраны два штуцера для входа и выхода масляной фракции, а также два штуцера для входа пара и выхода его конденсата.

## 2.8 Укрепление отверстий патрубков

Целью данного расчета является проверка на требуемость укрепления отверстий.

### Расчетные параметры:

Расчетный диаметр укреп. эл-тов:

Для цилиндр. оболочки:

$$D_p := D_{\text{внут}} = 309 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось которого совпадает с нормалью к поверхности:

$$d_{\text{рхол}} := d_{\text{хол}} + 2 \cdot c_1 = 103 \text{ мм} \quad (2.47)$$



$$d_{\text{проп}} := d_{\text{гор}} + 2 \cdot c_1 = 83 \text{ мм} \quad (2.48)$$

Расчетные длины внешней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете, определяют по формулам:

Расчетная длина внешней части штуцеров:

$$l_{\text{хол}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{хол}} + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{патруб1}} - c_1)} = 27.12 \text{ мм} \quad (2.49)$$

$$l_{\text{гор}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{гор}} + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{патруб2}} - c_1)} = 21.509 \text{ мм} \quad (2.50)$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления отверстий вычисляют по формуле:

холодный:

$$d_{0\text{х}} := \min \left[ 2 \cdot \left( \frac{s_2 - c}{s_{\text{pp2}}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{\text{п}} \cdot (s_2 - c)}, D_{\text{внут}} + 2 \cdot c \right] = 313.6 \text{ мм} \quad (2.51)$$

горячий:

$$d_{0\text{г}} := \min \left[ 2 \cdot \left( \frac{s_1 - c}{s_{\text{p1}}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{\text{п}} \cdot (s_1 - c)}, D_{\text{внут}} + 2 \cdot c \right] = 255.242 \text{ мм} \quad (2.52)$$

**Проверка условий расчета укрепления отверстий:**

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укреп. отверстий"} & \text{if } d_{0\text{х}} \geq d_{\text{рхол}} \\ \text{"требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

холодный:

$$\text{пров3} = \text{"НЕ требуется укреп. отверстий"}$$

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укреп. отверстий"} & \text{if } d_{0\text{г}} \geq d_{\text{проп}} \\ \text{"требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

горячий:

$$\text{пров3} = \text{"НЕ требуется укреп. отверстий"}$$

## 2.9 Поверочный расчет кожухотрубного теплообменного аппарата

Целью поверочного расчета является обеспечение механической надежности работы теплообменного аппарата.

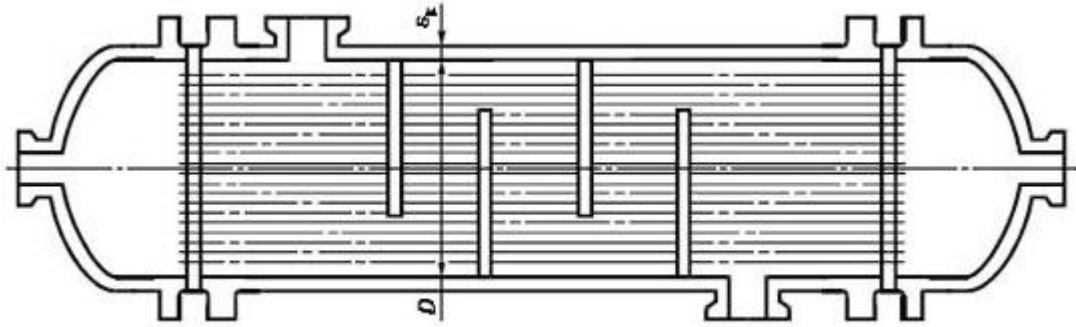


Рисунок 2.8 - Схема аппарата с неподвижными трубными решетками [13]

### 2.9.1 Вспомогательные величины:

Принимаем трубы 25х2 мм по табл. 1 [22]

$$d_T := 25_{\text{мм}}$$

Коэффициент заполнения трубной решетки примем [10]:

$$\eta := 0.7$$

Определим шаг расположения труб по [10]:

$$t_p := 1.2 \cdot d_T + 2 = 32 \text{ мм}$$

Определяем число труб по [10]:

$$D_{\text{внутр}} := 309$$

$$i := \eta \cdot \left[ \left( \frac{D_{\text{внутр}}}{1.1 \cdot t_p} \right)^2 \right] = 53.942 \quad (2.53)$$

По табл. 4.12 [1] число труб равно:

$$i_{\text{в}} := 56$$

Диаметр развальцовки:

$$d_{\text{разв}} := 25.7 \text{ мм}$$

$$f_M := 4.35 \cdot d_T + 15 = 123.75 \text{ мм}^2 \quad (2.54)$$

Толщина решетки:

$$s_{\text{реш}} := \frac{f_M}{t_p - d_{\text{разв}}} + 2 \cdot c = 24.243 \text{ мм} \quad (2.55)$$

По [11] минимальная толщина трубной решетки для труб 25х2 равна:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$s_{\text{фланец}} := 31 \text{ мм}$$

Так как трубная решетка выполняется заподлицо с фланцем, принимаем, что толщина решетки равна толщине фланца по [17]:

$$s_{\text{фланец}} := 36 \text{ мм}$$

Относительная характеристика бесшовного края трубной решетки по формуле 1 [13]:

$$m_n = \frac{a}{a_1} \quad (2.56)$$

$$a := \frac{D_{\text{внутр}}}{2} = 154.5 \text{ мм} \quad (2.57)$$

По [20] расстояние от оси аппарата до оси наиболее удаленной теплообменной трубки равно:

$$a_1 := 0.525 \cdot t_p \cdot \sqrt{i} = 125.72 \text{ мм} \quad (2.58)$$

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.229$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку

- со стороны межтрубного пространства по формуле 2 [13]:

Для гладких теплообменных труб 25x2 мм из материала сталь 12X18H10T

$$s_T := 2 \text{ мм}$$

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.446 \quad (2.59)$$

- со стороны трубного пространства по формуле 3 [13]:

$$\eta_T := 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.609 \quad (2.60)$$

Модуль упругости основания (системы труб) по формуле 4 [13]:

$$K_y = \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{1} \quad (2.61)$$

$$l_{\text{эк}} := \frac{1500}{2} = 750 \text{ мм (по [12])}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Модуль упругости для материала сталь 12Х18Н10Т при температуре 200 °С по [6]:

$$E_T := 1.98 \times 10^5 \text{ МПа}$$

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{1} = 43.027 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле 5 [13]:

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_T \cdot s} \quad (2.62)$$

$$s := 8 \text{ мм}$$

Модуль упругости для 16ГС при температуре 200 °С по [6]:

$$E_K := 1.81 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$\rho_w := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_T \cdot s} = 2.561$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух:

$$K_q = 1 + K_q' \quad (2.63)$$

$$K_p = 1 + K_p' \quad (2.64)$$

Для аппаратов с неподвижными трубными решетками:

$$K_q' = K_p' = 0$$

$$K_q := 1$$

$$K_p := 1$$

Коэффициент жесткости трубной решетки по приложению Б [13]:

$$\eta_w := \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.65 \end{pmatrix} \quad \psi_0 := \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.37 \end{pmatrix}$$

$$\psi_0 := \text{linterp}(\eta_T, \psi_0, 0.609)$$

$$\eta_T := 0.609 \quad \psi_0 = 0.313 \text{ МПа}$$

$d_0$  - диаметр отверстия в решетке, мм

$$d_0 := 25.7 \text{ мм}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Коэффициент ослабления трубной решетки по приложению Б [13]:

$$\varphi_p := 1 - \frac{d_0}{t_p} = 0.197 \quad (2.65)$$

$$d_E := d_0 - s_T = 23.7 \text{ мм} \quad (2.66)$$

Примем по [9]:

$$s_1 := s$$

Примем по [17] крышку эллиптическую с толщиной стенки равной:

$$s_2 := 8 \text{ мм}$$

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}} = 0.037 \frac{1}{\text{мм}} \quad (2.67)$$

Диаметр фланца по [17]:

$$D_H := 300 \text{ мм}$$

$$R_1 := \frac{D_H + D_{\text{внутр}}}{4} = 152.25 \text{ мм} \quad (2.68)$$

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_K \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1} = 6.323 \times 10^5 \text{ Н*мм} \quad (2.69)$$

$$h_1 := 36 \text{ мм}$$

толщина тарелки фланца кожуха

По [21] выбираем прокладку:

$$d_{\Pi} := 318 \text{ мм}$$

внутренний диаметр прокладки

$$D_{\Pi} := 363 \text{ мм}$$

условный проход прокладки

$$B_1 := d_{\Pi}$$

$$E_1 := E_K$$

$$K_{\phi 1} := \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left( 1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2} \right) = 1.071 \times 10^7 \text{ Н*мм} \quad (2.70)$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Модуль упругости для материала сталь 16ГС при температуре 200 °С по [2]:

$$E_p := 1.81 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент системы решетка-трубы вычисляют по формуле 8 [13]:

$$\beta := \frac{1.82}{s_{\text{реш}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_{\text{реш}}}{\psi_0 \cdot E_p}} = 0.021 \frac{1}{\text{мм}} \quad (2.71)$$

Безразмерный параметр системы решетка-трубы по формуле 10 [13]:

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 2.585 \quad (2.72)$$

## 2.9.2 Определение усилий в элементах теплообменного аппарата:

Определение усилий в элементах теплообменного аппарата по таблице Г.1 [2]

Температурные коэффициенты линейного расширения труб и корпуса [6],  $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ ;

$$\alpha_{\text{труб}} := 12.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\text{корп}} := 17.0 \cdot 10^{-6}$$

$$t_{\text{труб}} := 200$$

Температуры корпуса и труб, °С;

$$t_{\text{корп}} := 150$$

$$t_0 := 20$$

Температура сборки аппарата, °С;

$$p_T := 0.001$$

Рабочие давления в трубном и межтрубном пространстве, МПа;

$$p_M := 1.5$$

Коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб по формуле 12 [13]:

$$m_{\text{ср}} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - s_T)^2}{a_1^2} = 0.281 \quad (2.73)$$

Приведенное давление вычисляют по формуле 11 [13]:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$$\begin{aligned}
p_{11} &:= [\alpha_K \cdot (t_K - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)] \cdot K_y \cdot 1 = 1.872 \\
p_{22} &:= [\eta_T - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \cdot \rho \cdot K_q)] \cdot p_T = 2.974 \times 10^{-3} \\
p_{33} &:= [\eta_M - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0.3 \cdot \rho \cdot K_p)] \cdot p_M = 3.273 \\
p_0 &:= p_{11} + p_{22} - p_{33} = -1.398
\end{aligned} \tag{2.74}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения по формуле 13 [13]:

$$\begin{aligned}
K_\Phi &:= K_{\Phi 1} \\
\rho_1 &:= \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\Phi \cdot R_1} = 1.212
\end{aligned} \tag{2.75}$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб, определяют по табл.1 [13]

$$\begin{aligned}
\omega &:= \begin{pmatrix} 2.5 \\ 3 \end{pmatrix} \Phi_1 := \begin{pmatrix} 3.58 \\ 4.5 \end{pmatrix} \\
\Phi_1 &:= \text{linterp}(\omega, \Phi_1, 2.72) \\
\Phi_1 &= 3.985
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\omega &:= \begin{pmatrix} 2.5 \\ 3 \end{pmatrix} \Phi_2 := \begin{pmatrix} 2.16 \\ 3.94 \end{pmatrix} \\
\Phi_2 &:= \text{linterp}(\omega, \Phi_2, 2.72) \\
\Phi_2 &= 2.943
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\omega &:= \begin{pmatrix} 2.5 \\ 3 \end{pmatrix} \Phi_3 := \begin{pmatrix} 3.76 \\ 4.65 \end{pmatrix} \\
\Phi_3 &:= \text{linterp}(\omega, \Phi_3, 2.72) \\
\Phi_3 &= 4.152 \\
\omega &:= 2.72
\end{aligned}$$

Значения  $T_1, T_2, T_3$  вычисляют по формулам 14,15,16,17[13]:

$$t := 1 + 1.4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1) = 1.872 \tag{2.76}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)] = 10.629 \quad (2.77)$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t = 5.509 \quad (2.78)$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 5.102 \quad (2.79)$$

По формулам 20,21,22 [13]:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} = 852.467 \text{ мм}^2 \quad (2.80)$$

$$m_2 := m_1$$

так как фланцы на кожухе одинаковые

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) = 0.25 \text{ МПа} \quad (2.81)$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки, вычисляют:

- для изгибающего момента по формуле 18 [13]:

$$M_n := \left( \frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 1.27 \times 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \quad (2.82)$$

- для перерезывающей силы по формуле 19 [13]:

$$Q_n := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -24.237 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (2.83)$$

Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки:

для изгибающего момента по формуле 23 [1]:

$$M_a := M_n + (a - a_1) \cdot Q_n = 572.478 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \quad (2.84)$$

для перерезывающей силы по формуле 24 [13]:

$$Q_a := m_n \cdot Q_n = -29.785 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (2.85)$$

Осевая сила и изгибающий момент, действующие на трубу

для осевой силы по формуле 25 [13]:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56



$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[ (\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right] = 0.468 \quad (2.86)$$

Принимаем аппарат с перегородками в кожухе, тогда по стр.17 [13]:

$$l_{1R} := 300 \text{ мм}$$

(измерено на чертеже)

$$l_{\text{пр}} := \frac{l_{1R}}{3} = 100 \text{ мм}$$

Внешний диаметр трубки равен:

$$d_{\text{внеш}} := 25 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр трубки равен:

$$d_{\text{внутр}} := 21 \text{ мм}$$

$$l_{\text{пр}} = 100 \text{ мм}$$

$$J_T := \frac{\pi \cdot (d_{\text{внеш}}^4 - d_{\text{внутр}}^4)}{64} = 9.628 \times 10^3 \quad (2.87)$$

для изгибающего момента по формуле 26 [13]:

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{пр}}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = -2.811 \times 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (2.88)$$

Усилия в кожухе:

- усилие, распределенное по периметру кожуха по формуле 27 [13]:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot p_T - Q_n = 24.314 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (2.89)$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха по формуле 28 [13]:

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_\Phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n + T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{p_M}{2 \cdot \beta_1^2} = -548.822 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \quad (2.90)$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух по формуле 29 [13]:

$$F_{\text{ос}} := \pi \cdot D_{\text{внутр}} \cdot Q_K = 2.36 \times 10^4 \text{ Н} \quad (2.91)$$

### 2.9.3 Расчетные напряжения в элементах конструкции:

Принимаем трубную решетку, приваренную втавр к обечайке кожуха по [13]:

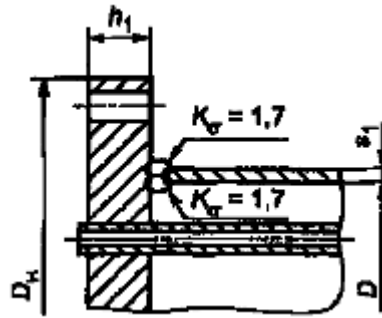


Рисунок 2.9 - Решетка, приваренная втавр [13]

Исходные данные:

$$s_{1p} := s_{\text{реш}}$$

Толщина решетки, мм;

$$s_{1p} = 36$$

Диаметр решетки, мм;

$$D_{\text{н}} := 485$$

Внутренний диаметр кожуха, мм;

$$D_{\text{внутр}} = 309$$

Толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или фланцем, мм;

$$s_3 := s$$

$$b_1 := \frac{D_{\text{н}} - D_{\text{внутр}}}{2} = 88 \text{ мм} \quad (2.92)$$

Расчетные напряжения в трубных решетках:

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом

- изгибные по формуле 30 [13]:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_n|}{(s_{1p} - c)^2} = 6.71 \text{ МПа} \quad (2.93)$$

- касательные по формуле 31 [13]:

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_n|}{(s_{1p} - c)} = 0.719 \text{ МПа} \quad (2.94)$$

$M_{\max}$  - максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки по формуле 34 [13]:

При

$$-1 \leq \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} \leq 1$$

где  $A$  - коэффициент, определяемый по приложению Г [13] в зависимости от  $\omega$  и  $m_A$

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = -0.395 \quad (2.95)$$

$$\omega = 2.72$$

$$A := 0.474$$

$$M_{\max} := A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} = 686.532 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \quad (2.96)$$

$$|M_a| \leq M_{\max}$$

$$572.478 \leq 686.532 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} - \text{условия выполняются}$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки

- изгибные по формуле 32 [13]:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\varphi_p \cdot (s_{1p} - c)^2} = 18.423 \text{ МПа} \quad (2.97)$$

- касательные по формуле 33 [13]:

$$\tau_{p2} := \frac{|Q_a|}{\varphi_p \cdot (s_{1p} - c)} = 4.489 \text{ МПа} \quad (2.98)$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке:

- в меридиональном направлении по формулам 38,39 [13]:

мембранные

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_1 - c)} = 4.266 \text{ МПа} \quad (2.99)$$

изгибные

$$\sigma_{\text{ux}} := \frac{6 \cdot |M_K|}{(s_1 - c)^2} = 101.352 \text{ МПа} \quad (2.100)$$

- в окружном направлении по формулам 40,41 [13]:

мембранные

$$\sigma_{M\varphi} := \frac{|p_M| \cdot a}{(s_1 - c)} = 40.658 \text{ МПа} \quad (2.101)$$

изгибные

$$\sigma_{u\varphi} := 0.3 \cdot \sigma_{\text{ux}} = 30.406 \text{ МПа} \quad (2.102)$$

Напряжения в трубах:

- в осевом направлении по формулам 42,43 [13]:

мембранные

$$\sigma_{1T} := \frac{|N_T|}{\pi \cdot (d_T - s_T) \cdot s_T} = 3.238 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad (2.103)$$

суммарные

$$\sigma_1 := \sigma_{1T} + \frac{d_T \cdot |M_T|}{2 \cdot J_T} = 3.653 \text{ МПа} \quad (2.104)$$

- в окружном направлении по формуле 44 [13]:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_T - s_T) \max(|p_T|, |p_M|, |p_T - p_M|)}{2 \cdot s_T} = 8.625 \text{ МПа} \quad (2.105)$$

#### 2.9.4 Расчет прочности и устойчивости кожуха:

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке по формуле 53 [13]:

$$\sigma := 165 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot (\sigma)$$

$$4.266 \leq 214.5 \text{ МПа} \quad - \text{ условие статической прочности выполняется}$$

Исходя из [13], проверку кожуха на местную устойчивость от сжимающей силы не проводим, так как осевая сила в кожухе  $F > 0$ .

					Механический расчет	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 2.9.5 Проверка прочности и жесткости трубных решеток:

Допускаемое напряжение для материала решетки 16ГС при температуре 200 °С по [6]:

$$\sigma_{\text{др}} := 165 \text{ МПа}$$

Проверка статической прочности

$$\max(\tau_{\text{p1}}, \tau_{\text{p2}}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{\text{др}}$$

$$4.489 \leq 132 \text{ МПа} \quad - \text{условие выполняется}$$

По таблице 2 [13] принимаем допустимую величину прогиба трубной решетки

$$[W] := 0.7 \text{ мм}$$

$$W := \frac{1.2}{K_y \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_n + T_2 \cdot \beta \cdot M_n| = 0.025 \text{ мм} \quad (2.106)$$

$$W \leq [W]$$

$$0.025 \leq 0.7 \text{ - условие выполняется}$$

### 2.9.6 Расчет труб на прочность и расчет крепления труб в решетке:

Допускаемое напряжение для материала труб 12Х18Н10Т при температуре 200 °С по [6]:

$$\sigma_{\text{дт}} := 160 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности труб:

$$\max(\sigma_{1\text{T}}, \sigma_{2\text{T}}) \leq \sigma_{\text{дт}}$$

$$8.625 \leq 160 \text{ МПа} \quad - \text{условие выполняется}$$

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если  $N_{\text{T}} < 0$ .

$$N_{\text{T}} = 0.468 \text{ Н}$$

Примем, что гладкие теплообменные трубы крепятся развальцовкой

Примем глубину развальцовки

$$l_{\text{в}} := 26 \text{ мм}$$

По приложению Е [13] для труб, завальцованных гладко:

$$[N]_{\text{тр}} := 0.5 \cdot \pi \cdot s_{\text{T}} \cdot (d_{\text{T}} - s_{\text{T}}) \cdot \min\left(\frac{l_{\text{в}}}{d_{\text{T}}}, 1.6\right) \cdot \min(\sigma_{\text{дт}}, \sigma_{\text{др}}) = 1.202 \times 10^4 \text{ Н} \quad (2.107)$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Условие крепления труб в трубной решетке

$$|N_T| \leq [N]_{\text{тр}}$$

$$0.468 \leq 1.202 \times 10^4 - \text{условие выполняется}$$

### 2.9.7 Проверка кожуха, обечайки и труб на малоцикловую прочность:

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичного сосуда, приведенного в [1], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [19] не проводится для обечайки, труб и трубной решетки.

Исходя из полученных данных, принят теплообменник типа 325ТНВ-2.5-М12-С/25Г-1.5-2-У.

### 2.10 Расчет фланцевого соединения (позиция Д)

Так как в теплообменнике будет находиться масляная фракция нефти, то следует выбрать фланцевое соединение по привалочной поверхности, отвечающее требованиям пожаро- и взрывоопасности, а также подходящее по давлению.

Исходя из рекомендаций, принимаем фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью выступ-впадина.

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

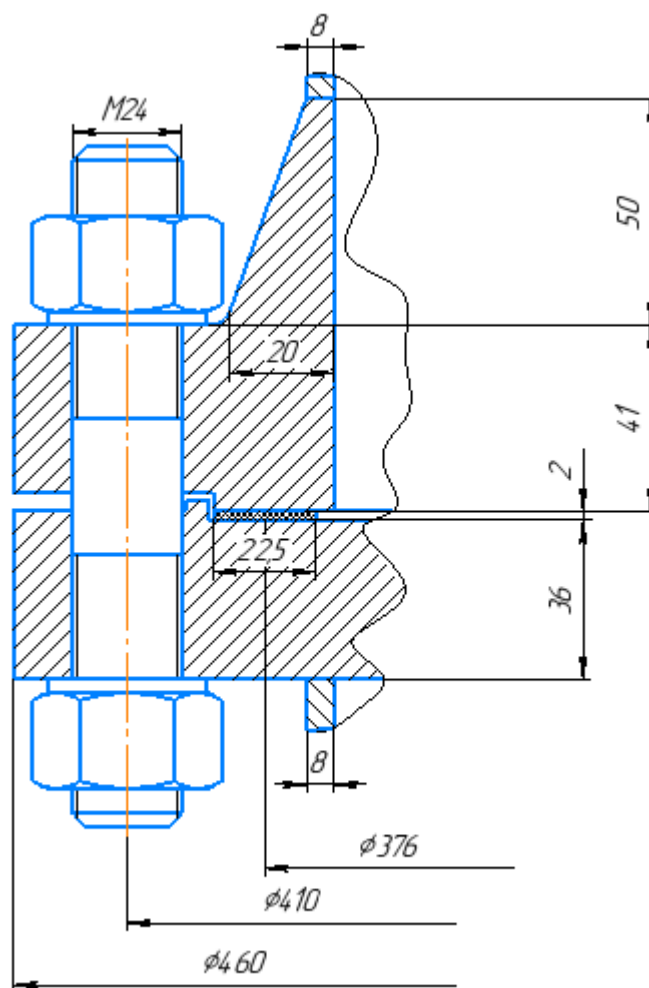


Рисунок 2.10 - Фланцевое соединение с приварными встык фланцами с уплотнительной поверхностью типа выступ-впадина [23]

#### Исходные данные:

Внутренний диаметр распределительной камеры, мм;

$$D := 309$$

Наружное давление, действующее на фланец, МПа;

$$P := 0.1$$

Число болтов;

$$n := 12$$

Прибавка на коррозию, мм;

$$c_o := 2$$

Максимальная температура среды, °C;

$$t := 150$$

Изгибающий момент, Н\*мм;

$$M := 0$$

Сжимающее усилие, Н;

$$F := 0$$

Принимаем фланец типа 3 по табл.21.12 [17]

$$D_{\text{фл}} := 460 \text{ мм}$$

$$D_{\text{б}} := 410 \text{ мм}$$

$$d := 24 \text{ мм}$$

Измерено на чертеже:

$$h := 41 \text{ мм}$$

$$S_0 := 8 \text{ мм}$$

$$S_1 := 20 \text{ мм}$$

$$l := 50 \text{ мм}$$

Выбираем прокладку типа Б по табл.4 [21]

$$D_{\text{нп}} := 376 \text{ мм}$$

$$b_{\text{п}} := 22.5 \text{ мм}$$

$$h_{\text{п}} := 2 \text{ мм}$$

Согласно рекомендациям по табл.21.14 [17]:

Материал обечаек и фланцев - сталь 16ГС

Материал шпилек сталь - 40Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

### 2.10.1 Основные расчетные значения:

Расчетные температуры

- расчетная температура неизолированных приварных встык фланцев по табл.

В1 [23]

$$t_{\text{ф}} := 0.96 \cdot t$$

$$t_{\text{ф}} = 144 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- расчетная температура шпилек по табл. В1 [1]

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64



$$t_6 := 0.85 \cdot t$$

$$t_6 = 127.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 40Х по [23]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 227 \\ 217 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д.6} := \text{linterp}(t, \sigma, t_6)$$

$$\sigma_{д.6} = 224.25 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек из стали 40Х при расчетной температуре  $t_6$  по табл. Ж1 [23]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad E_6 := \begin{pmatrix} 2.12 \cdot 10^5 \\ 2.08 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_6 := \text{linterp}(t, E_6, t_6)$$

$$E_6 = 2.109 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для шпилек при  $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$  по табл. Г [23]

$$\sigma_{206} := 238 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$  по табл. Ж1 [23]

$$E_{206} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 40Х при  $t = 20\text{-}200 \text{ } ^\circ\text{C}$  по табл. Ж2 [23]

$$\alpha_6 := 12.7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 16ГС при  $150 \text{ } ^\circ\text{C}$  по [23]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 177 \\ 171 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{linterp}(t, \sigma, t_\phi)$$

$$\sigma = 171.72 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{д.\phi} := \eta \cdot \sigma$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

$$\sigma_{д.ф} = 171.72 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 16ГС при расчетной температуре по [6]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 1.91 \cdot 10^5 \\ 1.86 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{interp}(t, E, t_{ф})$$

$$E = 1.866 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по [6]

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20}$$

$$\sigma_{д20} = 196 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 16ГС при температуре испытания  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по [6]

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 16ГС при  $t = 20 - 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по [6]

$$\alpha_{ф} := 12.6 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\text{K}$$

Номинальное допускаемое напряжение для шпилек из стали 40Х при  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по табл. Г1 [23]

$$\sigma_{дбн} := \sigma_{206} = 238 \text{ МПа}$$

$$\xi := 1.2$$

-коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке

Коэффициент условий работы:

- для рабочих условий

$$K_{у.р.р} := 1$$

-для условий испытания

$$K_{у.р.и} := 1.35$$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{у.з} := 1$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций

$$K_{y.T} := 1.3$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 40Х при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [23]:

$$\sigma_{дбм} := \xi \cdot K_{y.p.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.T} \cdot \sigma_{дбн} = 371.28 \text{ МПа} \quad (2.108)$$

$$\sigma_{дбр} := \xi \cdot K_{y.p.и} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.T} \cdot \sigma_{дбн} = 501.228 \text{ МПа} \quad (2.109)$$

## 2.10.2 Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения:

Эффективная ширина плоской прокладки по формуле 5 [23]

$$b_0 := 3.8 \cdot \sqrt{b_{\pi}} = 18.025 \text{ мм} \quad (2.110)$$

Расчетный диаметр плоской прокладки по формуле 7 [23]

$$D_{сп} := D_{нп} - b_0 = 357.975 \text{ мм} \quad (2.111)$$

Характеристики прокладки по таблице И1 [23]

$$m := 2.5$$

$$q_{обж} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{обж} := 0.9$$

$$E_{\pi} := 0.02 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8 [23]

$$P_{обж} := 0.5 \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} \quad (2.112)$$

$$P_{обж} = 2.027 \times 10^5 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения по формуле 9 [23]

$$R_{\pi} := 0$$

Т.к. аппарат работает под наруж. давлением

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

### 2.10.3 Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях:

Площадь поперечного сечений шпилек для М24 по прил. Д [23]

$$f_6 := 324 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра по формуле 10 [23]

$$A_6 := n \cdot f_6 = 3.888 \times 10^3 \text{ мм}^2 \quad (2.113)$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11 [23]

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P = 1.006 \times 10^4 \text{ Н} \quad (2.114)$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы по формуле 12 [23]

$$Q_{\text{fm}} := F + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} = 0 \text{ Н} \quad (2.115)$$

### 2.10.4 Податливость прокладки и шпилек:

Податливость прокладки по формуле К.1 [23]

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 3.557 \times 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (2.116)$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек (измеряется по чертежу)

$$L_{60} := 80 \text{ мм}$$

Эффективная длина шпильки при определении податливости по стр.32 [23]

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d = 93.44 \text{ мм} \quad (2.117)$$

Податливость болтов по формуле К.2 [23]

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 1.118 \times 10^{-7} \text{ мм/Н} \quad (2.118)$$

### 2.10.5 Расчетные параметры и угловая податливость фланцев:

- параметр длины обечайки по формуле К.3 [23]

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 49.719 \text{ мм} \quad (2.119)$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [23]

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.489 \quad (2.120)$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [23]

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.714 \quad (2.121)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 5.556 \quad (2.122)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 5.098 \quad (2.123)$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 2.645 \quad (2.124)$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами по графикам К2-К4 [23]

$$\beta_F := 0.67$$

$$\beta_V := 0.12$$

$$f := 1.2$$

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 2.5 \quad (2.125)$$

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 1.006 \quad (2.126)$$

- коэффициент  $\lambda$  по формуле К.11 [23]

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 1.373 \quad (2.127)$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [23]

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

$$y_{\Phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 1.256 \times 10^{-10} \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}} \quad (2.128)$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками по формуле К.18 [23]

$$C_F := \max \left( 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right) = 1 \quad (2.129)$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца по формуле К.19 [23] при

$$D \geq 20 \cdot S_1$$

$$D_{\text{пр}} := D + S_0 \quad (2.130)$$

#### 2.10.6 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости:

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.1 [23]

$$b := 0.5(D_6 - D_{\text{сп}}) = 26.012 \text{ мм} \quad (2.131)$$

Коэффициент  $\zeta$  находим по формуле Е.6 [23]

$$\zeta := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.802 \quad (2.131)$$

Эквивалентная толщина втулки фланцев по формуле Е.5 [23]

$$S_3 := \zeta \cdot S_0 \quad (2.132)$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [23]

$$e_{\text{мм}} := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_3) = 17.279 \text{ мм} \quad (2.133)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.8 [23]

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 3.024 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (2.134)$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле Е.11 [23]

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\Phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\Phi} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} = 1.244 \quad (2.135)$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле 13 [23]

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20)] = 4.888 \times 10^4 \text{ Н} \quad (2.136)$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения

$$P_{61} := \max \left[ \begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} - Q_t \end{array} \right] = 1.252 \times 10^4 \text{ Н} \quad (2.137)$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения шпилек

$$P_{62} := \max [ (P_{обж}), 0.4 \cdot A_{\Phi} \cdot \sigma_{206} ] = 3.701 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.138)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [23]

$$P_{6м} := \max (P_{61}, P_{62}) = 3.701 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.139)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле 18 [23]

$$P_{6р} := P_{6м} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t = 4.166 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.140)$$

### 2.10.7 Проверка прочности шпилек и прокладки:

Расчетные напряжения в шпильках

- при затяжке по формуле 19 [23]

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6м}}{A_{\Phi}} = 95.2 \text{ МПа} \quad (2.141)$$

- в рабочих условиях по формуле 20 [23]

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p}}{A_6} = 107.142 \quad \text{МПа} \quad (2.142)$$

Проверка условий прочности шпилек при затяжке и в рабочих условиях по формулам 21,22 [23]

$$Usl\_1 := \begin{cases} \text{"Усл. при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{д6м} \\ \text{"Усл. в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д6р} \\ \text{"Усл. прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_1 = "Усл. прочности выполняются"**

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{6м}, P_{6р})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 16.463 \quad \text{МПа} \quad (2.143)$$

Условие прочности прокладки

$$Usl\_2 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Усл. прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_2 = "Усл. прочности прокладки выполняется"**

### 2.10.8 Расчет фланцев на статическую прочность:

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец или плоский фланец при затяжке по формуле 24 [23]

$$M_M := C_F \cdot P_{6м} \cdot b = 9.628 \times 10^6 \quad \text{Н*мм} \quad (2.144)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле 26 [23]

$$M_p := C_F \cdot \max[P_{6р} \cdot b + (Q_d) \cdot e, |Q_d| \cdot e] = 1.101 \times 10^7 \quad \text{Н*мм} \quad (2.145)$$

### 2.10.9 Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

- меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца по формулам 28,29 [23]

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$



$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 68.252 \text{ МПа} \quad (2.146)$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M} \cdot f = 81.902 \text{ МПа} \quad (2.147)$$

- напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки по формулам 31,32 [23]

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 23.412 \text{ МПа} \quad (2.148)$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 32.578 \text{ МПа} \quad (2.149)$$

#### 2.10.10 Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$  по формуле 34 [23]

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 78.046 \text{ МПа} \quad (2.150)$$

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$  по формуле 35 [23]

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} \cdot f = 93.655 \text{ МПа} \quad (2.151)$$

- меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца по формулам 37,38 [23]

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$

$$\sigma_{p1mm} := \max \left[ \frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_1) \cdot (S_1 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_1) \cdot (S_1 - c_o)} \right] = 0.541 \text{ МПа} \quad (2.152)$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$

$$\sigma_{P0MM} := \max \left[ \frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)} \right] = 1.684 \text{ МПа} \quad (2.153)$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца в сечении  $S_0$  вычисляют по формуле 39 [23]

$$\sigma_{POMO} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c_o)} = 2.575 \text{ МПа} \quad (2.154)$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в рабочих условиях:

- радиальное напряжение по формуле 40 [23]

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 26.772 \text{ МПа} \quad (2.155)$$

- окружное напряжение по формуле 41 [23]

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 37.253 \text{ МПа} \quad (2.156)$$

#### 2.10.11 Проверка условий статической прочности фланцев:

Расчет производится по формулам 43 - 46 [23]

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций.

$$K_T := 1.3$$

Допуск. значение общих мембран. и изгиб. напряжений и допуск. значение суммарных общих и местных условных упругих мембран. и изгиб. напряжений рассчитываем в соответствии с п.8.10 [6]

$$\sigma_{д.м} := 1.5 \cdot \sigma = 257.58 \text{ МПа} \quad (2.157)$$

$$\sigma_{д.Р} := 3 \cdot \sigma = 515.16 \text{ МПа} \quad (2.158)$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$

- в рабочих условиях

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

$$\sigma_{P_{\max}} := \max \left( \begin{pmatrix} |\sigma_{1p} - \sigma_{P1MM} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{1p} - \sigma_{P1MM} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{1p} + \sigma_{P1MM}| \end{pmatrix} \right) = 114.758 \quad (2.159)$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении  $S_1$

$$\text{Usl\_1} := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{P_{\max}} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_1 = "Усл. прочности выполняются"

- при затяжке

$$\sigma_{3\max} := \max(|\sigma_{1M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{1M} + \sigma_{TM}|) = 100.83 \quad (2.160)$$

Проверка условий прочности при затяжке в сечении  $S_1$

$$\text{Usl\_1} := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{3\max} \leq K_T \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_1 = "Усл. прочности выполняются"

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$

- в рабочих условиях

$$\begin{aligned} Q &:= |\sigma_{0p} - \sigma_{P0MM}| \\ W &:= |\sigma_{0p} + \sigma_{P0MM}| \\ e &:= |0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{P0Mo}| \\ R &:= |0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{P0Mo}| \\ T &:= |0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0Mo})| \\ Y &:= |0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0Mo})| \\ \sigma_{P_{\max.з}} &:= \max(Q, W, e, R, T, Y) = 95.339 \end{aligned} \quad (2.161)$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении  $S_0$

$$\text{Usl\_1} := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{P_{\max.з}} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_1 = "Усл. прочности выполняются"

- при затяжке

Проверка условий прочности при затяжке в сечении  $S_0$

$$Usl\_1 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq 1.3 \cdot \sigma_{d.R} \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_1 = \text{"Усл. прочности выполняются"}$$

Для фланцев всех типов в сечении  $S_0$  должно выполняться условие по формуле 53 [23]

Проверка условий для фланцев всех типов в сечении  $S_0$

$$Usl\_1 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{POMO}|, |\sigma_{POMM}|) \leq \sigma \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_1 = \text{"Усл. прочности выполняются"}$$

Для тарелок приварных встык фланцев должны выполняться условия:

- при затяжке по формуле 54 [23]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев при затяжке

$$Usl\_1 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{RM}|, |\sigma_{TM}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_1 = \text{"Усл. прочности выполняются"}$$

- в рабочих условиях по формуле 55 [23]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев в рабочих условиях

$$Usl\_1 := \begin{cases} \text{"Усл. прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{Rp}|, |\sigma_{Tp}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Усл. прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_1 = \text{"Усл. прочности выполняются"}$$

#### 2.10.12 Проверка углов поворота фланцев:

Угол поворота приварного встык фланца по формуле 58 [23]

$$\Theta := M_p \cdot y_\Phi \cdot \frac{E_{20}}{E} = 1.474 \times 10^{-3} \text{ рад} \quad (2.162)$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

$$D := \begin{pmatrix} 400 \\ 2000 \end{pmatrix} \quad \Theta_d := \begin{pmatrix} 0.006 \\ 0.013 \end{pmatrix}$$

$$\Theta_d := \text{linterp}(D, \Theta_d, 325)$$

$$\Theta_d = 5.672 \times 10^{-3} \text{ рад}$$

$$Usl\_P := \begin{cases} \text{"Усл. при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"Усл. в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"Усл. поворота фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_P = \text{"Усл. поворота фланца выполняется"}$$

### 2.10.13 Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость:

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичных элементов

фланцевого соединения, приведенного в [17], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [19] не проводится.

В данном подразделе были произведены расчеты прочности фланцев, шпилек и прокладок, а также расчет герметичности фланцевого соединения. По произведенным расчетом можно сделать вывод, что конструкция фланцевого соединения отвечает критериям надежности.

### 2.11 Расчет массы пустого и заполненного аппарата. Подбор опор (позиция 4)

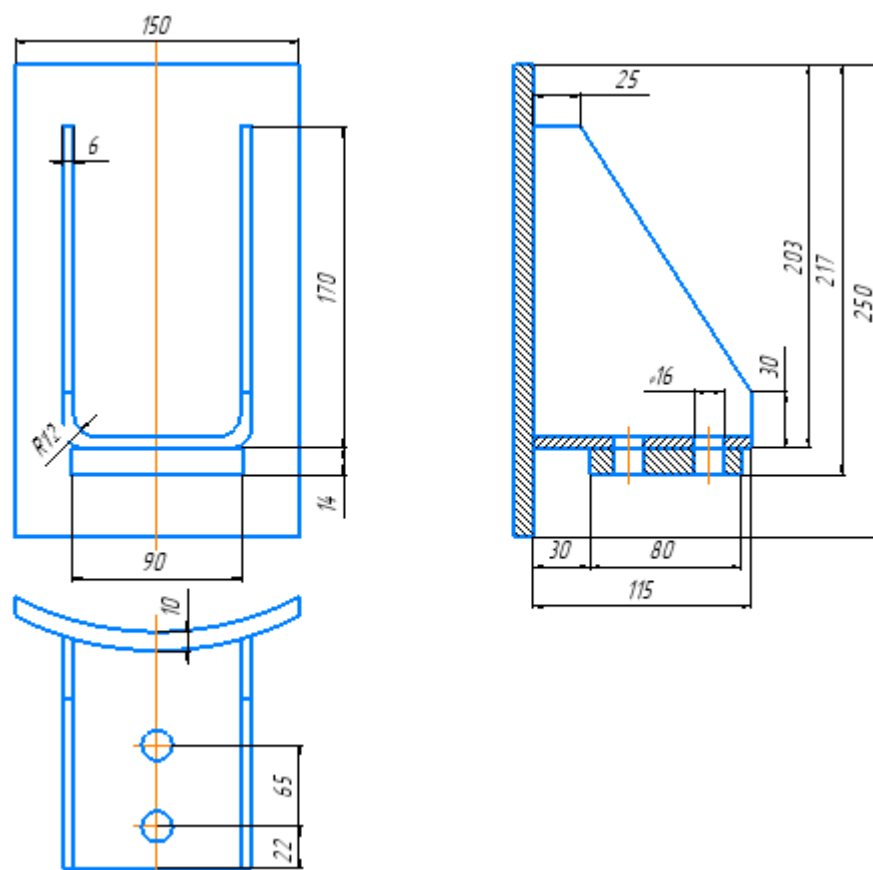


Рисунок 2.11 - Опоры для вертикальных цилиндрических аппаратов [17]

#### Исходные данные:

Наружный диаметр корпуса, м

$$D_{\text{кр}} := 0.325$$

Внутренний диаметр аппарата, м

$$D_{\text{вк}} := 0.309$$

Внутренний диаметр крышки, м

$$D_{\text{кр}} := 0.309$$

Внутренний диаметр труб, м

$$D_{\text{вт}} := 0.021$$

Наружный диаметр труб, м

$$D_{\text{нт}} := 0.025$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Плотность воды,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\rho_c := 1000$$

Толщина стенок труб, м

$$s_{tr} := 0.002$$

Толщина стенки корпуса, м

$$s_{корп} := 0.08$$

Прибавка на коррозию, м

$$c := 0.0023$$

Длина корпуса, м

$$L_{корп} := 1.5$$

Длина труб, м

$$L_{труб} := 1.5$$

Длина распределительной камеры, м

$$L_k := 0.25$$

Количество труб, м

$$n := 56$$

Ускорение свободного падения,  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$$g := 9.81$$

Плотность стали,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\rho_{мет} := 7900$$

Толщина трубной решетки, м

$$s_{тр} := 0.036$$

Диаметр трубной решетки, м

$$D_{т.р1} := 0.325$$

Вес корпуса аппарата:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

$$G_{\text{корп}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{Н}}^2 - D_{\text{ВК}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{корп}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 926.161 \text{ Н} \quad (2.163)$$

Вес распределительной камеры аппарата:

$$G_{\text{кам}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{Н}}^2 - D_{\text{ВК}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 154.36 \text{ Н} \quad (2.164)$$

Вес трубного пучка:

$$G_{\text{труб.п}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{НТ}}^2 - D_{\text{ВТ}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{труб}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g \cdot n = 940.769 \text{ Н} \quad (2.165)$$

Вес трубной решетки:

$$G_{\text{труб.р}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{тр.р1}}^2}{4} \right) \cdot s_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 231.449 \text{ Н} \quad (2.166)$$

По [18] вес эллиптической крышки:

$$G_{\text{э.к.}} := 8.3 \text{ кг}$$

Вес пустого аппарата:

Принимаем, что фланцы, патрубки и пр. составляют 30% массы аппарата

$$A_1 := (2G_{\text{э.к.}} + G_{\text{труб.р}} + G_{\text{корп}} + G_{\text{кам}}) \cdot 0.3 = 398.571 \quad (2.167)$$

$$G_{\text{ап1}} := A_1 \cdot 2 = 797.142 \text{ Н} \quad (2.168)$$

Вес жидкости в аппарате:

Вес жидкости внутри аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{жид1}} := \left( \pi \cdot \frac{D_{\text{ВК}}^2}{4} \cdot 11.25 \right) \cdot \rho_{\text{с}} \cdot g = 8.276 \times 10^3 \text{ Н} \quad (2.169)$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{ап2}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид1}} = 9.073 \times 10^3 \text{ Н} \quad (2.170)$$

Нагрузка от собственной массы:

$$F_{\text{св}} := G_{\text{ап2}} = 9.073 \times 10^3 \text{ Н} \quad (2.171)$$

Примем две опоры, тогда нагрузка на одну опору:

$$\frac{F}{2} = 4.537 \times 10^3 \text{ Н} \quad (2.172)$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80



Примем по [17] опоры: ОВ-І І -А-1000-10 ОН 26-01-69—68.

### **Вывод по разделу**

Таким образом, в данном разделе были произведены такие расчеты как:

- Расчет температурных деформаций, по нему было выявлено что теплообменник типа ТН нам подходит;

-Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, работающей под внутренним избыточным давлением 1.5 МПа;

-Расчет толщины стенки распределительной камеры, работающей под разряжением 0.001 МПа;

-Расчет толщины стенки и подбор эллиптических днищ для теплообменного аппарата;

-Расчет толщины стенки штуцеров А, Б, В, Г, проверка на условие прочности и их подбор;

-Расчет необходимости укрепления отверстий патрубков, он показал, что укреплять отверстия не требуется;

-Полный поверочный расчет теплообменного аппарата, проведена проверка статической прочности для труб, проверка крепления труб в трубной решетке, а также найден изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки;

-Расчет фланцевого соединения, проведена проверка условия прочности шпилек и прокладки, статической прочности фланцев, а также проверка углов поворота;

-Подбор вертикальных опор, исходя из посчитанной нагрузки действующей на одну опору.

					<i>Механический расчет</i>	Лист
						81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

#### 3.1 Потенциальные потребители результатов исследования



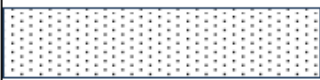
Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В таблице 3.1 представлена карта сегментирования рынка по производству кожухотрубных теплообменников.

Таблица 3.1 - Карта сегментирования

Размер предприятия	Количество ходов в теплообменнике		
	1-ходовый	2-ходовый	4-ходовый
Малое предприятие			
Среднее предприятие			
Крупное предприятие			
ООО "Ремстроймаш"	ООО "НЕФТЕХИММАШ"		Компания SCESPOL
			

					ФЮРА АПКО 000 000 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Студент	Чуклин Е.В.				Финансовый менеджмент			Литера	Лист	Листов	
Руковод.	Тихонов В.В.							Д		82	19
Конс.	Криницына З.В.							ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4K51			
Н. Контр.											
Руков. ООП	Беляев В.М.										

### 3.2 SWOT-анализ

Качественный подход к описанию рисков заключается в детальном и последовательном рассмотрении содержательных факторов, несущих неопределенность, и завершается формированием причин основных рисков и мер по их снижению. Одной из методик анализа сильных и слабых сторон предприятия, его внешних, благоприятных возможностей и угроз является SWOT-анализ.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов:

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 3.2 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  1. Более низкая стоимость аппарата по сравнению с зарубежными производителями 2. Возможность работы с любыми средами 3. Простота обслуживания и ремонта	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> 1. Нет возможности механической очистки межтрубного пространства 2. Большое количество конкурентных производителей данного аппарата 3. Уровень проникновения только на Российском рынке
<b>Возможности:</b> 1. Возможность увеличения поверхности теплопередачи 2. Увеличение спроса на выпускаемый продукт 3. Возможность использования аппарата в двух положениях	<b>Стратегия (SO)</b> 1. Изменение скорости потоков, использование возможных площадей в обоих пространствах	<b>Стратегия (WO)</b> 1. Правильное распределение сред 2. Создание новой технологии (ресурсо/энергоэффективной) для привлечения иностранных покупателей

	2. Развитие спроса иностранного потребителя	3. Привлечение новых заказчиков (в том числе иностранных)
<b>Угрозы:</b> 1. Засорение трубного/межтрубного пространства 2. Высокая конкуренция между производителями 3. Вырывание труб из трубной решетки	<b>Стратегия (ST)</b> 1. Правильная подача сред в аппарат (в зависимости от их агрессивности, способности к отложениям и т.д.) 2. Продвижение аппарата на мировой рынок за счет внедрения новой технологии и снижения стоимости 3. Использование подходящего крепления труб в трубной решетке	<b>Стратегия (WT)</b> 1. Использование других конструкций аппарата, которые позволили бы очищать межтрубное пространство механическим путем, замена труб 2. Снижение цены на продукцию 3. Усовершенствование технологии, которая бы обеспечила заинтересованность иностранных потребителей

### 3.3 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, в качестве инженера проекта, научный руководитель выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ и занесем это все в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, инженер
	4	Календарное планирование дел по теме кожухотрубный теплообменник	Научный руководитель, инженер

Теоретические исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер
	7	Определение целесообразности проведения ВКР	Научный руководитель, инженер
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	8	На основе расчетов проектирование модели аппарата в КОМПАС 3D	Инженер
	9	Оценка эффективности производства и применения разработки	Инженер
	10	Разработка социальной ответственности по теме	Инженер
Оформление комплекта документации по ВКР	11	Составление пояснительной записки, оформление чертежей	Инженер

### 3.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5}, \quad (3.1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$  – ой работы, чел. – дн.;

$t_{min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  – ой работы, чел. – дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  – ой работы, чел. – дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчетов занесены в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	Трудоемкость работы			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{\min}$ , чел дни	$t_{\max}$ , чел дни	$t_{ожі}$ , чел дни			
1	1	1	1	Руководитель	1	1
2	7	9	8	Инженер	8	10
3	1	2	1	Руков., инженер	1	1
4	1	3	2	Инженер	2	2
5	10	14	12	Инженер	12	14
6	1	2	1	Руководитель	1	2
7	1	2	1	Руков., инженер	1	1
8	1	2	2	Инженер	1	2
9	22	25	23	Инженер	23	28
10	1	1	1	Руководитель	1	1
11	17	21	19	Инженер	19	23
Итого	63	82	71		71	85

### 3.5 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{\text{кi}} = T_{\text{pi}} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$  – й работы в календарных днях;

$T_{ri}$  – продолжительность выполнения  $i$  – й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (3.4)$$

где  $T_{\text{кал}}$ —количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  — количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Таблица 3.5 – План-график проведения работы по теме «Разработка теплообменного аппарата для подогрева кубового остатка»

№ раб от	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составлени е ТЗ	Руководитель	1														
2	Изучение литературы	Инженер	10														
3	Выбор направлени я исследован ия	Руководитель, Инженер	1														
4	Планирова ние работ	Инженер	2														
5	Проведени е расчетов	Инженер	14														
6	Проверка расчетов	Руководитель	2														
7	Оценка результат.	Руководитель, Инженер	1														

					<div style="text-align: center;"> <h2>Финансовый менеджмент</h2> </div>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87





№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб	Общая стоимость оборудования, тыс. руб
1	ПО Microsoft office	1	1,557	1.557
2	Mathcad Application	1	37,620	37,620
3	КОМПАС 3D	1	146,0	146,0

Затраты по таблице 3.7 не учитываются по причине того, что программное обеспечение было приобретено ранее.

Статья заработной платы исполнителей темы включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (3.5)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{шт}} \cdot T_p, \quad (3.6)$$

где  $Z_{\text{шт}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{шт}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (3.7)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

В таблице 3.8 приведен баланс рабочего времени каждого работника НИИ.

Таблица 3.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
календарное количество дней	365	365
Количество не рабочих дней:		
выходные дни	44	48
праздничные дни	14	14
Издержки рабочего времени:		
Отпуск	56	28
невыходы по болезни	2	2
Действительный фонд рабочего времени	249	273

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} * k_p, \quad (3.8)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по окладу, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 3.9

Таблица 3.9 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Зок, руб.	$k_p$	Зм, руб.	Здн, руб	Тр, раб.дн.	Зосн, руб.
Руководитель	33664	1.3	43763,2	1827,9	5	9139,5
Инженер	26000		33800	1386,7	65	90135,5
Итого						99275

Расчет дополнительной заработной платы проводится по надлежащей формуле:

$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} * k_{\text{доп}}$ , где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы принимаем 0,12 из диапазона 0,12 – 0,15;

Здоп руководителя: 1096 руб.;

Здоп инженера: 10816 руб. В сумме  $Z_{\text{доп}} = 11912$  руб.

В итоге заработная плата работников рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{ит}} = З_{\text{осн}} * Z_{\text{доп}}, \quad (3.9)$$

для руководителя: 10235,5 руб.;

для инженера: 100951,5 руб.

					Финансовый менеджмент	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

В статье расходов – отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина этих отчислений определяется по следующей формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (3.10)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

Тарифы страховых взносов в 2018 году остались на прежнем уровне в соответствии с постановлением Правительства РФ от 26.11.2015 № 1265, т. е. есть общий совокупный тариф все также составляет 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 - Отчисления во внебюджетные фонды

Участник	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	9139,5	1096
Инженер-дипломник	90135,5	10816
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	
Итого, руб.	руководитель: 2773; дипломник: 27358	
В сумме	30131 руб.	

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{нал} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (3.11)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов  $k_{нр}$  допускается взять в размере 16%.

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 3.11.

Таблица 3.11 - Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
	Исп.1	
1. Материальные затраты НТИ	1890	Табл.6
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	-	-
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	99275	Табл.9
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11912	-
5. Отчисления во внебюджетные фонды	30131	Табл.10
6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-
7. Контрагентские расходы	-	-
8. Накладные расходы	22913,3	16 % от суммы ст. 1-7
9. Бюджет затрат НТИ	166121,3	Сумма ст. 1- 8

### 3.7 Расчёт производственной мощности

Под производственной мощностью химического предприятия (производства, цеха) понимается максимально возможный годовой выпуск готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренных на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования, площадей в результате внедрения инноваций или проведения организационно-технических мероприятий.

$$M = P_{\text{час.}} * T_{\text{эф.}} * K_{\text{об.}}$$

(3.12)

$$M = 22500 * 8568 * 1 = 192780000 \text{ кг/год}$$

Производственная мощность 192780 т/год

где  $P_{\text{час.}}$  - часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

$T_{\text{эф.}}$  - эффективный фонд времени работы оборудования (час.);

$K_{\text{об.}}$  - количество однотипного оборудования, установленного в цехе. Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}$$

(3.13)

$$T_{\text{эфф}} = 365 - 7 - 1 = 357$$

где  $T_{\text{ном.}}$  - номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ппр}}$  - время простоя в ремонтах за расчетный период;

$T_{\text{то}}$  - время технологических остановок.;

					Финансовый менеджмент	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}} \quad (3.14)$$

$$T_{\text{ном}} = 365 - 0 - 0 = 365$$

где  $T_{\text{вых}}$  - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  - количество праздничных дней в году.

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс.}} = T_{\text{эф}} / T_{\text{н}} \quad (3.15)$$

$$K_{\text{экс.}} = \frac{8568}{8760} = 0,978$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}} / Q_{\text{max}} \quad (3.16)$$

$$K_{\text{инт}} = \frac{192780}{197100} = 0,98$$

где  $Q_{\text{пп}}$  - производительность единицы оборудования в единицу времени;  $Q_{\text{max}}$  - максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс.}} / K_{\text{н}} \quad (3.17)$$

$$K_{\text{им}} = \frac{0,978}{0,98} = 0,99$$

Таблица 3.12 - Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени	
• выходные	0 (0)
• праздники	0 (0)
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	7 (168)
Эффективное время работы оборудования за год	357 (8568)

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ( $N_{\text{год}}$ ):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M \quad (3.18)$$

$$N_{\text{год}} = 0,99 * 192780 = 190852 \text{ т/год}$$

Вывод: максимально возможный годовой выпуск – 192780 т/год; действительный выпуск продукции – 190852 т/год (степень загрузки установки равна 99%).

### 3.7.1 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

#### 1) Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

Таблица 3.13 - Расчет численности персонала

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках
Главный технолог	ИТР	Высшее	1	1
Механик установки	ИТР	Высшее	1	1
Оператор установки	Производственный рабочий	4 разр.	4	2
Дежурный слесарь по ремонту	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
Итого:			<b>10</b>	

2) Расчет баланса эффективного годового времени одного средне списочного работника (табл. 3.14).

Таблица 3.14 – Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Нерабочие дни	0	0
3.	Номинальный фонд рабочего времени	365	8760
4.	Планируемые не выходы <ul style="list-style-type: none"> <li>Очередные и дополнительные отпуска</li> <li>Невыходы по болезни</li> <li>Декретные отпуска</li> <li>Отпуск в связи с учебной без отрыва от производства</li> <li>Выполнение гос. обязанности</li> </ul>	36 3 - - 3	864 72 - - 72
5.	Эффективный фонд рабочего времени	323	7752

#### 3) Общий фонд заработной платы рабочих за год:

					Финансовый менеджмент	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

$$З_{год} = З_{осн} + З_{доп} \quad (3.19)$$

где  $З_{осн}$  - основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб;

$З_{доп}$  - дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$З_{осн} = З_{тар} + Пр + Д_{н.вр} + Д_{пр.дни} + Д_{бриг} \quad (3.20)$$

где  $З_{тар}$ - тарифный фонд заработной платы, тыс. руб;

Пр - оплата премий, тыс. руб;

Дн.вр- доплата за работу в ночное время, тыс. руб;

Дпр. дни - доплата за работу в праздничные дни, тыс. руб;

Дбриг - доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$З_{тар} = \sum Ч_{сп} * Т_{ст} * Т_{эф.раб} \quad (3.21)$$

где  $Ч_{сп}$  - списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

$Т_{сп}$  - дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Размер премий принимаем равным 20-70 % от тарифного фонда заработной платы.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 40 %.

Дополнительная зарплата ( $З_{доп}$ ):

$$З_{доп} = (Д_{н} * З_{осн}) / Т_{эфф} \quad (3.22)$$

где  $Д_{н}$  - количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Районный коэффициент для г. Томска - 1,3. Отчисления на социальные нужды на зарплату - 30 % от ( $З_{ОСН}+З_{ДОП}$ ).

Таблица 3.15.1 – Сводная таблица заработной платы основного персонала

Наименование профессий	Списочная численность	Тарифный разряд	Тариф. ставка за день, руб.	Номин. Фонд рабочего времени всех рабочих в год, ч	Основной фонд заработной платы, тыс. руб.				
					Тари ф. фонд	Преми я	Доплат а за ночное время	Допла- та за работу в праздни ки	Итого
	Чсп		Тст	Нф=360 *Чсп	Зтар= Чсп* Тст*Т эф	Пр=Зта р*10%	Дн.вр = Зтар*4 0%	Дпр.дн. = Зтар*0,3	Зосн= Зтар+ Пр+Днв р+ Дпрдн
ИТР	2	6	3123	720	2229, 8	222,98	891,92	668,94	4013,64
Опер уст.	4	5	1987	1440	2837, 4	283,74	1134,9 6	851,22	5107,32
Рем. перс.	4	4	1269	1440	1812, 1	181,21	724,84	543,63	3261,78
Итог	10	-	-	-	6879, 3	687,93	2751,7 2	2063,79	12382,74

Таблица 3.15.2 – Сводная таблица заработной платы основного персонала

Дополнительный фонд з/п, тыс. руб.	Общий годовой фонд з/п, тыс. руб	Общий фонд з/п с учетом районного коэффициента, тыс.руб.
Здоп = Зосн* 10%	Зобщ.=Здо п+ Зосн	Зобщ*К; К=1,3
401,36	4415	5739,5
510,73	5618,05	7303,46
326,17	3587,95	4664,34
1238,26	13621	17707,3



### 3.7.2 Расчет затрат на производство продукции

#### Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Таблица 3.16 – Расчет годовой потребности в материалах

Наименование сырья	Ед.изм	Цена, тыс. руб	Расход, т		Сумма затрат, тыс. руб	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
1 Масляная фракция нефти	т	18	1	190852	18	3435336
2 Греющий пар	т	0,85	1	2282,5	0,85	1940,1

#### Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий;
- полную стоимость оборудования;
- нормы амортизационных отчислений.

Расчет амортизационных отчислений представлен в табл. 3.17.

Таблица 3.17 – расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1. Здания			
1.1 Цех по производству	4000	5	200
1.2 Операторная	5000	5	250
2. Оборудование			
2.1 Теплообменник	200	10	20
2.2 Насосы	150	10	15
<b>Итого:</b>	<b>9350</b>		<b>485</b>

### 3.7.3 Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (190852 т/год)

Таблица 3.18 - Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства 190852 т/год

Статьи затрат	Единицы измерения	Затраты тыс. руб.	
		На 1 т.	На весь год
1. Сырье 1	Тыс. руб.	18	3435336
2. Сырье 2	Тыс. руб.	0,85	1940,1
3. Энергия на технологические нужды	Тыс. руб.	20,0	3817040
4. З/П основных произв. рабочих	Тыс. руб.	0,0382	7303,46
5. Отчисления на СН(30%)	Тыс. руб.	0,0114	2191,04
<b>Итого условно-переменных издержек</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>38,8996</b>	<b>7424066,46</b>
6. Общепроизводственные накладные расходы	Тыс. руб.		
6.1.РСЭО:	Тыс. руб.		
-Амортизация оборудования	Тыс. руб.	0,0001834	35
-Ремонт оборудования	Тыс. руб.	0,00004585	8,75
-Заработная плата ремонтного персонала	Тыс. руб.	0,0244	4664,34
-Отчисления на соц. нужды ремонтного персонала(30%)	Тыс. руб.	0,0073	1399,3
6.2 Заработная плата ИТР	Тыс. руб.	0,03	5739,5
-Отчисления на соц. нужды ИТР(30%)	Тыс. руб.	0,009	1721,85
Итого условно-постоянных издержек	Тыс. руб.	0,071	13568,74
<b>Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5+6)</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>39,041</b>	<b>7451153,9</b>
7. Управленческие расходы (5% от цеховой себестоимость)	Тыс. руб.	1,9520	372552,6
<b>Заводская себестоимость(цеховая себестоимость + 7)</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>40,993</b>	<b>7823596,04</b>
8. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимость)	Тыс. руб.	0,40	78235,96
Полная себестоимость (заводская себестоимость + 8)	Тыс. руб.	41,393	7899936,84
<b>Условно-переменные издержки</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>38,8996</b>	<b>7424066,46</b>
<b>Условно-постоянные издержки</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>2,4934</b>	<b>475870,38</b>

### 3.7.4 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100), \quad (3.23)$$

где  $C$  - полная себестоимость единицы готовой продукции;

$P$  - рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$Ц = 41,393 * 1,2 = 49,67 \text{ тыс. руб./т}$$

#### Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа - определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ( $V_{пр}$ ) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_{1гп} - Изд_{1гп}} \quad (3.24)$$

$$Q_{кр} = \frac{475870,38}{49,67 - 38,8996} = 44183,17 \text{ т.}$$

где  $Ц_{1гп}$  - цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$Изд_{1гп}$  - удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции - 1 тонну).

2. Графическим способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 3.1.

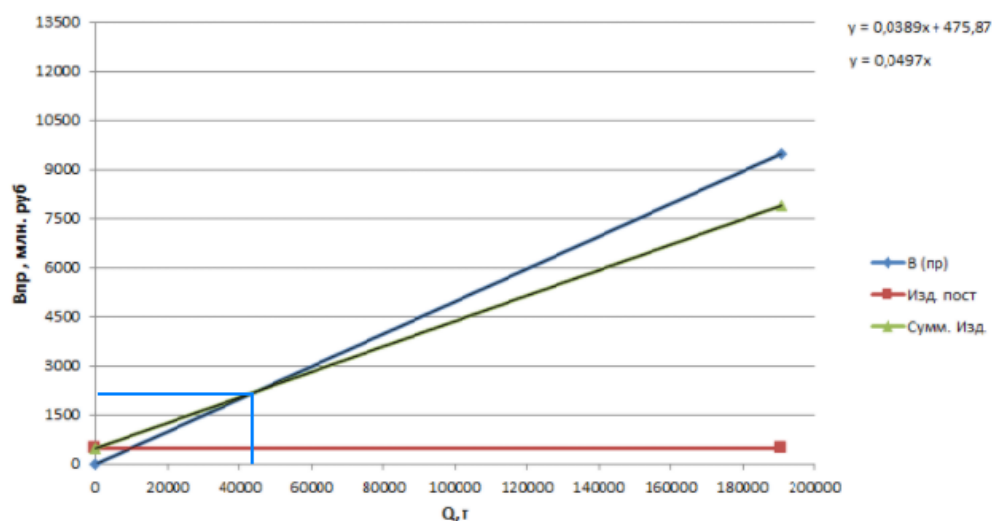


Рисунок 3.1 – График безубыточности

### 3.7.5. Определение технико-экономических показателей

Таблица 3.19 - Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	Тыс. т	190,852
2. Объем продаж	Тыс. т	190,852
3. Цена 1 тонны	Тыс. руб.	49,67
4. Выручка от продажи (2*3)	Тыс. руб.	9479,61
5. Суммарные издержки	Тыс. руб.	7899936,84
5.1. Издержки переменные	Тыс. руб.	7424066,46
5.2. Издержки постоянные	Тыс. руб.	475870,38
6. Операционная прибыль	Тыс. руб.	1579682
7. Налог на прибыль (6*20%)	Тыс. руб.	315936,4
8. Чистая прибыль (6-7)	Тыс. руб.	1263745,6
9. Себестоимость 1 тонны	Тыс. руб.	41,393
10. Стоимость основных средств	Тыс. руб.	9350
11. Численность основных рабочих	Чел.	10
12. Фондовооруженность (10/11)	Тыс. руб./чел.	935
13. Фондоотдача(4/10)	Руб./руб.	1,13
14. Фондоемкость (10/4)	Руб./руб.	0,98
15. Производительность труда (4/11)	Тыс. руб./чел.	947,96
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	16
17. Рентабельность продаж (8*100%./4)	%	13,3
18. Критический объем продаж (Qкр.)	Тыс. т	44062
19. Критический объем продаж (Qкр.)	Тыс. руб.	2189,88

### Вывод по разделу

Таким образом, в данном разделе был проведен SWOT-анализ проекта, посчитан бюджет научного исследования, а также произведен расчет производственной мощности в целом. Кроме того, произведен анализ безубыточности, построен график и определены основные технико-экономические показатели.

## 4 Социальная ответственность

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией [27]. В данной дипломной работе проектируется теплообменник для подогрева кубового остатка. Из того, что такое оборудование имеет технологический характер, появляется необходимость рассмотреть процесс его монтажа, обслуживания и работы с точки зрения влияния оборудования на работника, окружающую среду. Кроме того, рассматривается аспект возникновения чрезвычайных ситуаций, возможных их причин и последствий, чтобы предупредить их и уменьшить убытки предприятия, а главное сохранить человеческое здоровье и жизнь.

### 4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федеральных законов и других нормативных правовых актов субъектов РФ. Для реализации этих законов приняты Постановления Правительства РФ “О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда”, “О службе охраны труда”, “О Федеральной инспекции труда” и др. [28].

Для работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, законодатель установил сокращенную продолжительность рабочего времени - не более 36 часов в неделю (ст. 92 ТК РФ, п. 1 Постановления Правительства РФ от 20.11.2008 N 870). При этом максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать (ст. 94 ТК РФ): - при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов; - при 30-часовой рабочей неделе и менее - 6 часов. Коллективным договором может быть предусмотрено увеличение смены при условии соблюдения предельной еженедельной продолжительности рабочего времени и гигиенических нормативов условий труда. Также сотрудникам, занятым на работах с вредными или опасными условиями труда, положено предоставлять ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск продолжительностью не менее 7 календарных дней (ст. 117 ТК РФ, п. 1 Постановления N 870) [29].

					ФЮРА АПКО 000 000 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Студент	Чуклин Е.В.				Социальная ответственность	Литера	Лист	Листов	
Руковод.	Тихонов В.В.					Д		101	8
Конс.	Скачкова Л.А.					ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4К51			
Н. Контр.									
Руков. ООП	Беляев В.М.								

## 4.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему технических средств и организационных мероприятий, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, возникающие при разработке и эксплуатации данного оборудования. Выбор факторов производится в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [30]. Основные факторы, возникающие на разных этапах работ, перечислены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации кожухотрубного теплообменника

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Повышенный уровень вибрации		+	+	ГОСТ 26568-85. Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация.
2.Повышенный уровень шума		+	+	ГОСТ 12.4.011-89 (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
3.Электрический ток		+	+	ГОСТ 12.4.011-89 (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
4.Подвижные части производственного оборудования		+	+	ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
5.Повышенная температура поверхности оборудования			+	ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки.

## 4.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

### Повышенный уровень вибрации

Через кожухотрубный теплообменник проходят потоки греющего пара и масляной фракции, при этом постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата, меняя свое направление, вследствие чего и возникает вибрация. Длительное воздействие производственной вибрации на человека вызывает ряд функциональных и физиологических последствий, наиболее опасные из которых могут привести к нарушениям в сердечно-сосудистой системе, в опорно-двигательном аппарате, а также развитию нервных заболеваний. Ограничение времени воздействия вибрации должно осуществляться путем установления для лиц виброопасных профессий внутрисменного режима труда, реализуемого в технологическом процессе [31]. Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1дБ (в 1.12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза) [32]. При проектировании и строительстве зданий и промышленных объектов, других элементов производственной среды, а также разработке технологических процессов должны быть использованы методы, снижающие вибрацию на путях ее распространения от источника возбуждения, по ГОСТ 26568 [32].

### Повышенный уровень шума

Шум создается потоками холодного и горячего теплоносителя, ударяющихся о стенки и перегородки аппарата. Кроме того, основной шум создают насосы, подающие оба теплоносителя в аппарат. Шум не только ухудшает самочувствие человека и снижает производительность труда в среднем на 10-15%, но и часто приводит к профессиональным заболеваниям. Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [33]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБ А. Снижение шума и вибрации можно достичь следующими методами:

- устранение причин шума и вибрации или существенное их ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума и вибрации от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;
- архитектурно - планировочные решения, предусматривающие рациональное размещение технологического оборудования, машин, механизмов, акустическая обработка помещений;

					Социальная ответственность	Лист
						103
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Также снизить воздействие шума можно при помощи средств индивидуальной защиты [27]:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски;
- противошумные костюмы

### **Электрический ток**

При сборке, наладке, подключении и эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током. Особенно опасно прикосновение рабочего к токоведущим частям, находящимся под напряжением. При непосредственном прикосновении работника к таким частям, а также при воздействии электрической дуги, возникают местные поражения (ожоги). Возникают так же механические повреждения – разрыв тканей и некоторых внутренних органов. Если сила тока, проходящего через организм 1,5 мА (при постоянном напряжении), то в месте контакта с токоведущими частями ощущается зуд и нагрев. Такую силу тока называют порогом ощущения [34]. Увеличение силы тока до 10 мА при переменном и до 50 мА при постоянном напряжении вызывает у человека сильные боли в пальцах и кистях рук. При такой силе тока человек еще может самостоятельно оторваться от токоведущих частей. Такую силу тока называют условно безопасной. Дальнейшее увеличение от 10 мА до 100 мА при переменном и от 50 мА до 100 мА при постоянном напряжении вызывает очень сильные боли, руки парализуются, наступает паралич дыхания, самостоятельно оторваться от токоведущих частей невозможно. Сила тока при снижении сопротивления человеческого тела постоянно возрастает и при достижении 100 мА, как при переменном, так и при постоянном напряжении наступает клиническая смерть (отсутствие внешних признаков жизни) [34]. Для понижения вероятности удара разработан ряд требований безопасности к электротехническим приборам, установленный [34]. Также, следует соблюдать технику безопасности при работе с электроприборами.

Основные способы и средства электрозащиты:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;

					Социальная ответственность	Лист
						104
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты

### **Подвижные части производственного оборудования**

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикосания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование [27]. Конструкция производственного оборудования должна исключать самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей, а также исключать перемещение подвижных частей за пределы, предусмотренные конструкцией, если это может повлечь за собой создание опасной ситуации. Элементы конструкции производственного оборудования не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих, если их наличие не 73 определяется функциональным назначением этих элементов. В последнем случае должны быть предусмотрены меры защиты работающих [27].

### **Повышенная температура поверхности оборудования**

Теплообменник, температура наружных поверхностей которого в процессе эксплуатации может превышать 45 °С, должен быть теплоизолирован. Рекомендуется дополнительная установка ограждающих конструкций теплообменника. Теплоизоляция и ограждающие конструкции теплообменника разрабатываются и изготавливаются по документации эксплуатирующей организации (Заказчика) и в комплект поставки не входят [35]. При необходимости нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры по их защите ожогов и действия высокой температуры (ограждение действующего оборудования, вентиляция, спецодежда и т.п.) [36]. Трубопроводы агрессивных, легковоспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ должны быть герметичными. В местах возможных утечек (краны, вентили, фланцевые соединения) должны быть установлены защитные кожухи, а при необходимости - специальные устройства со сливом из них продуктов утечек в безопасное место [36].

					<i>Социальная ответственность</i>	Лист
						105
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

#### 4.4 Экологическая безопасность

В данном теплообменники опасность для окружающей среды представляет только масляная фракция нефти (греющий пар можно не рассматривать так как он состоит из воды). Нефть – это горючее ископаемое и в необработанном виде представляет вязкую маслянистую жидкость темно-коричневого цвета. Отравление нефтью и получаемыми из нее продуктами может вызвать головную боль, головокружение, сердечные боли, бессонницу. При многократном воздействии наблюдаются нарушения в работе желудочно-кишечного тракта, повышенная заболеваемость органов дыхательных путей.

Защита гидросферы и литосферы:

В случае разлива масляной фракции токсичные вещества проникают в почву, подземные воды и водоемы. Для исключения разлива вредных веществ предусмотрено:

- обвалование и ограждение бордюрным камнем площадок, где возможен разлив продукта;
- оборудование объекта сливной и канализационной системой;
- для сбора утечек и сливов установлены подземные емкости с насосной откачкой;
- защита емкостей и трубопроводов от коррозии: изоляцией усиленного типа, катодная защита;
- капитальный ремонт и замена морально и физически устаревшего оборудования, снижается вероятность аварийных ситуаций.

Защита атмосферы:

Так как в нашем случае продукт нагревается до температуры кипения и образуются пары, то целью охраны воздушного бассейна выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы вредных веществ в атмосферу:

- полная герметизация системы сбора и транспорта;
- опорожнение и дренаж технологических ёмкостей в закрытую систему с последующим возвращением жидких продуктов в технологический процесс;
- оснащение предохранительными клапанами всей аппаратуры, в которой может возникнуть давление, превышающее расчётное, с учётом требований «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» [37].

#### 4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям относятся производственные аварии, стихийные бедствия, а также военные конфликты. При возникновении одной из таких ситуаций на предприятии должна включиться тревога, оповещающая персонал и дающая первичные

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

инструкции. Каждый работник, всегда имеющий с собой первичные средства защиты (противогаз или самоспасатель), должен немедленно его использовать. Производится остановка подачи сырья на оборудование. Сырье, уже прошедшее некоторые стадии обработки, автоматически сбрасывается на факел или в специальное хранилище, предусмотренное технологической схемой. Затем производится отключение электричества ответственным персоналом или автоматически, во избежание еще большей аварии. Персонал немедленно эвакуируется из опасной зоны, либо направляется в бомбоубежище.

Наиболее вероятными видами ЧС на данном производстве, являются ЧС, связанные с взрывопожароопасностью.

Так как масляная фракция относится к нефтепродуктам, то ее относят к классу 3,1 ЛВЖ с температурой вспышки менее +40°C [34]. При работе оборудования нельзя допускать открытого огня, искр и курения.

При сливно-наливных операциях следует строго соблюдать правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Производственные помещения, в которых ведутся работы с нефтепродуктами, должны быть обеспечены приточно-вытяжной вентиляцией. В помещениях для хранения и применения нефтепродуктов запрещается обращение с открытым огнем, а также использование инструментов, дающих при ударе искру. Электрооборудование и искусственное освещение должно быть выполнено во взрывобезопасном исполнении.

Для тушения нефтепродуктов необходимо применять химическую и воздушно-механическую пену. Для тушения небольших очагов горения применяют ручные пенные или углекислотные огнетушители.

Для обеспечения безаварийной работы установки и достижения минимального уровня взрывопожароопасности процесса предусмотрены следующие мероприятия [38]:

- все стадии технологического процесса непрерывны и склонны к устойчивому протеканию;
- при соблюдении правил эксплуатации процесс не обладает возможностью взрыва внутри технологической аппаратуры;
- применяемые, обращающиеся и получаемые вещества не обладают способностью быстро и спонтанно полимеризоваться, реагировать с водой, саморазогреваться и самовоспламеняться, не склонны к произвольному термическому разложению при высоких температурах и давлениях;
- на установке отсутствуют открытые поверхности аппаратов и трубопроводов с температурой выше температуры самовоспламенения обрабатываемых веществ;

					Социальная ответственность	Лист
						107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

-контроль и управление процессом осуществляется автоматически и дистанционно из операторной с использованием электронной системы приборов;

-предусмотрены система аварийного освобождения аппаратов от продуктов в аварийную емкость и аварийный сброс на факел;

-на наружной установке, где расположено оборудование, в котором обращаются взрывопожароопасные вещества, предусмотрены датчики загазованности, сигналы от которых поступают в операторную.

В соответствии с требованием норм по пожаротушению на установке должны быть предусмотрены первичные и стационарные средства пожаротушения, а также пожарная сигнализация.

### **Вывод по разделу**

Таким образом, был проведен анализ выявленных вредных и опасных факторов, а также обоснование мероприятий по снижению их воздействия. Также был проведен анализ на воздействие среды аппарата на атмосферу, литосферу и гидросферу. Были рассмотрены наиболее вероятные виды ЧС и способы их устранения.

Теплообменный аппарат спроектирован в соответствии со всеми значимыми требованиями [27, 33, 35, 39].

					Социальная ответственность	Лист
						108
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## **Заключение**

Таким образом, в результате проделанной работы был произведен технологический расчет, исходя из которого найдена поверхность теплообмена и подобран теплообменный аппарат, посчитан и подобран насос, толщина изоляции, и диаметры патрубков. Механический расчет, в ходе которого был проведен расчет толщины всех стенок аппарата, расчет фланцевого соединения, подбор опор, а также полный поверочный расчет теплообменного аппарата. По данным расчетам были построены чертежи.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проведен SWOT-анализ проекта, посчитан бюджет научного исследования, а также произведен расчет производственной мощности в целом. Кроме того, произведен анализ безубыточности, построен график и определены основные технико-экономические показатели.

В разделе «Социальная ответственность» был проведен анализ выявленных вредных и опасных факторов, а также обоснование мероприятий по снижению их воздействия. Также был проведен анализ на воздействие среды аппарата на атмосферу, литосферу и гидросферу. Были рассмотрены наиболее вероятные виды ЧС и способы их устранения.

## Список использованных источников

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов под ред. чл-корр. АН СССР П.Г.Романкова. -10-е изд., перераб. и доп./ Репринтное воспроизведение издания 1987 г. - М.: Альянс, 2013. - 576 с.
2. ГОСТ 31842-2012 (ИСО 16812:2007) Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования. - М.: Стандартинформ, 2013. -34 с.
3. ТУ 3612-024-00220302-02 Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые аппараты с температурным компенсатором на кожухе. - М.: ОАО "ВНИИнефтемаш", 2002.
4. В.М.Беляев, В.М.Миронов "Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Ч.1 Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств". - Томск: Изд - во Томский политехнический университет, 2016. - 313с.
5. ГОСТ Р 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ, и крышек. - М.: Стандартинформ, 2018. -54 с.
6. ГОСТ Р 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. - М.: Стандартинформ, 2018. -30 с.
7. ГОСТ 9617-76 Сосуды и аппараты. Ряды диаметров. - М.: Изд-во стандартов, 1978. - 2с.
8. ГОСТ 19903 - 2015 Прокат листовой горячекатаный. - М.: Стандартинформ, 2016. -12 с.
9. ГОСТ 19904-90 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент. - М.: Стандартинформ, 2012 -11 с.
10. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Учеб. Пособие. Часть 1/Том.политехн. ун-т. Томск: 2003. -118 с.
11. ГОСТ Р 55601-2013 Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования. - М.: Стандартинформ, 2013. -50 с.
12. ГОСТ 31842-2012 Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования. - М.: Стандартинформ, 2013. -34 с.
13. ГОСТ Р 34233.7-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. - М.: Стандартинформ, 2018. -54 с.

14. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент (с Изменением N 1). - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 7 с.

15. ГОСТ Р 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. - М.: Стандартиформ, 2018. -41 с.

16. ГОСТ 8732-78 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент (с Изменениями N 1, 2). - М.: ИПК Изд-во стандартов, 78. -9 с.

17. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. 3-е изд., стереотипное. - М.: ООО ИД "Альянс", 2008. -752 с.

18. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями N 1, 2) - М.: Издательство стандартов, 1985 -26 с.

19. ГОСТ Р 34233.6-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках. - М.: Стандартиформ, 2018. -19 с.

20. РД РТМ 26-01-141-82 Камеры, греющие выпарных аппаратов с трубными решетками, имеющими отбортованные кромки отверстий. Расчет на прочность. М.: НИИХиммаш, 83. -21 с.

21. ГОСТ 15180-86 Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. - М.: Издательство стандартов, 1993. -12 с.

22. ТУ 3612-024-00220302-02 Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые аппараты с температурным компенсатором на кожухе. М.: ОАО "ВНИИнефтемаш", 2002. -112 с.

23. ГОСТ Р 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. - М.: Стандартиформ, 2018. -42 с.

24. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования. - М.: Минтяжмаш СССР, 1990. - 46 с.

25. ГОСТ 32569-2013 Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах. - М.: Стандартиформ, 2017. -131 с.

26. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию. - 2-е изд./ Под ред. Ю.И. Дытнерского. - М.: Химия, 1991. – 496 с.

27. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ Оборудование производственное. Общие требования безопасности. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. -11 с.
28. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). Статья 354. Федеральная инспекция труда [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (дата обращения: 20.04.2019)
29. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст]: от 30.12. 2001 г. № 197-ФЗ, ввод в действие с 01.02.2002 / Российская Федерация. Законы. - М.: Изд-во ВолГУ: Либрис, 2002. -225 с.
30. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация - М.: Стандартинформ, 2016. -16с.
31. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования - М.: Стандартинформ, 2010 -20с.
32. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [Текст]. – утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 01.10.1996 N 21: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 1996. – 12 с.
33. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности - М.: Стандартинформ, 2015 - 4с.
34. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. - М.: Стандартинформ, 2008 - 12с.
35. Руководство по эксплуатации. Теплообменники кожухотрубные [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.funke-rus.ru/libryary/Instruction\\_kozhuh.pdf](http://www.funke-rus.ru/libryary/Instruction_kozhuh.pdf) (дата обращения: 20.04.2019)
36. РД 34.03.201-97 Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей. - М.: Стандартинформ, 1997 - 128с.
37. Закон Российской Федерации “О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера” [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5295/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/) (дата обращения: 20.04.2019)
38. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/) (дата обращения: 20.04.2019)
39. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: ООО «Издательский дом Альянс», 2015. – 753с.